

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR ROBERTA FERREIRA
CARRIJO SHARMA E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 29 / 07 / 2009


ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Projeção da demanda energética no setor industrial brasileiro

Autora: Roberta Ferreira Carrijo Sharma
Orientador: Sérgio Valdir Bajay

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

Projeção da demanda energética no setor industrial brasileiro

Autora: Roberta Ferreira Carrijo Sharma
Orientador: Sérgio Valdir Bajay

Curso: Planejamento de Sistemas Energéticos.

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2009
S.P. – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Sh23p	<p>Sharma, Roberta Ferreira Carrijo</p> <p>Projeção da demanda energética no setor industrial brasileiro / Roberta Ferreira Carrijo Sharma. --Campinas, SP: [s.n.], 2009.</p> <p>Orientador: Sérgio Valdir Bajay.</p> <p>Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.</p> <p>1. Projeção. 2. Energia - Consumo. 3. Modelos matemáticos. I. Bajay, Sérgio Valdir. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.</p>
-------	--

Título em Inglês: Energy demand forecast for the Brazilian industrial sector

Palavras-chave em Inglês: Energy forecasts, Energy consumption, Mathematical models

Área de concentração:

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora: Arnaldo César da Silva Walter, Orlando Frederico José Godoy Bordoni

Data da defesa: 29/07/2009

Programa de Pós Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

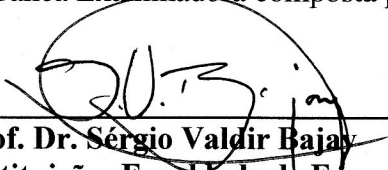
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADEMICO

**Projeção da demanda energética no setor
industrial brasileiro**

Autora: Roberta Ferreira Carrijo Sharma

Orientador: Sérgio Valdir Bajay

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay

Instituição: Faculdade de Engenharia Mecânica / Unicamp



Prof. Dr. Arnaldo César da Silva Walter

Instituição: Faculdade de Engenharia Mecânica / Unicamp



Prof. Dr. Orlando Frederico José Godoy Bordoni

Instituição: Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético / Unicamp

Campinas, 29 de julho de 2009.

Dedicatória:

Dedico este trabalho à minha família.

Agradecimentos

Agradeço a Deus que me possibilitou chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais e ao meu esposo por todo apoio que me deram.

Agradeço ao meu orientador, professor Bajay, por toda a dedicação, auxílio e ensinamentos. Agradeço também a Orlando Frederico José Godoy Bordoni, por suas significativas contribuições no decorrer de todo o trabalho

Agradeço a André Felipe Simões, Arnaldo César da Silva Walter, Filipe Debonzi Gorla, Mauro Donizetti Berni, Paulo Henrique de Mello Santana, Ivo Leandro Dorileo, Marcelo Modesto, Carlos Roberto Rocha, Álvaro Afonso Furtado Leite, que colaboraram com todas as informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também a disponibilidade que sempre demonstraram para reuniões e explicações.

Resumo

SHARMA, Roberta Ferreira Carrijo, *Projeção da demanda energética no setor industrial brasileiro*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 141p Dissertação (Mestrado)

O setor industrial brasileiro é responsável por cerca de 20% do Produto Interno Bruto e 35% do consumo energético nacional. Trata-se de um setor bastante heterogêneo, com inúmeras cadeias produtivas envolvendo diversos usos finais da energia. Projeções da demanda energética deste setor devem levar em conta esta heterogeneidade, através de uma desagregação adequada. Os modelos de projeção desta demanda também devem ser capazes de simular mudanças tecnológicas, impactos de programas de eficiência energética e o efeito de variáveis macroeconômicas.

Neste trabalho, o setor industrial do País foi dividido em quatorze segmentos, que se caracterizam por serem energointensivos, ou possuírem forte participação no Produto Interno Bruto.

Esta dissertação apresenta, inicialmente, uma ampla análise retrospectiva do desempenho econômico e do consumo energético destes segmentos industriais, utilizando vários parâmetros capazes de capturar as principais influências tecnológicas e econômicas neste consumo. Em seguida, são apresentadas projeções, a longo prazo, da demanda energética destes segmentos, utilizando o modelo de desagregação estrutural. Este modelo utiliza parâmetros levantados durante a análise retrospectiva e permite a simulação de rupturas dos padrões históricos das demandas energéticas a serem projetadas. Através do uso de cenários alternativos, foi possível explorar os impactos, nestas demandas, de diversas configurações de crescimento econômico e de políticas de conservação de energia.

Palavras Chave

- Projeção de demanda energética, Setor industrial, Modelo de desagregação estrutural

Abstract

SHARMA, Roberta Ferreira Carrijo, *Energy demand forecasts in the Brazilian industry*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 141p M.Sc. Thesis

Brazilian industry is responsible for about 20% of the Gross Domestic Product and 35% of the national energy consumption. It is a very heterogeneous sector of the economy, with several productive chains involving various end-uses for energy. Energy demand forecasts for this industry should take into account this heterogeneity, through an adequate disaggregation. The forecasting models for this demand should also be able to simulate technological changes, the impacts of energy efficiency programs and the effect of macroeconomic variables.

The industrial sector of the country was divided here into fourteen branches, which are either energy-intensive, or have a strong contribution to Gross Domestic Product.

This thesis presents, initially, a broad retrospective analysis of the economic performance and energy consumption of these industrial branches, using several parameters capable to capture the main technological and economic influences in this consumption. Then, long-term forecasts of the energy demand of these branches are produced, using the structural disaggregation model. This model uses parameters obtained during the retrospective analysis and allows the simulation of ruptures in the historical pattern of the energy demands to be projected. Using alternative scenarios, it was possible to explore the impacts, in these demands, of several schemes of economic growth and energy conservation policies.

Key words:

Energy demand forecasts, Industrial sector, Structural disaggregation model

Índice

Lista de Figuras	xiv
Lista de Tabelas	xviii
Nomenclatura	xix
Capítulo 1 - Introdução	1
Capítulo 2 - Modelos Energéticos	3
2.1 - Histórico	3
2.2 - Tipos de modelos energéticos	4
2.3 - Tratamento de incertezas	6
2.4 - Estudos de cenários	7
2.4.1 - Plano Nacional de Energia 2030	8
2.4.2 - Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017	12
2.4.3 - International Energy Outlook 2008	13
2.5 - Cenários adotados	14
2.6 - Base de dados	15
2.6.1 - Dados econômicos e de produção física	15
2.6.2 - Dados energéticos	17
2.7 - Modelo de Desagregação Estrutural	17
2.7.1 - Descrição do modelo	17
2.7.2 - Indicadores Analisados	20
2.8 – A metodologia utilizada na dissertação	22
2.8.1- Análise retrospectiva dos setores industriais	22
2.8.2 - Análise prospectiva dos setores industriais.	23
Capítulo 3 - Análise Retrospectiva dos Setores Industriais.	25

3.1 - Setor industrial	25
3.2 - Setor de alimentos e bebidas	27
3.2.1 - Análise de indicadores	28
3.3 - Setor de cerâmica	31
3.3.1 - Análise de indicadores	32
3.4 - Setor de cimento	35
3.4.1- Análise de indicadores	37
3.5 - Setor de indústria extrativa mineral	40
3.5.1 - Análise de indicadores	41
3.6 - Setor de ferro ligas	43
3.6.1 - Análise de indicadores	45
3.7 - Setor de fundições	47
3.7.1 - Análise de indicadores	48
3.8 - Setor de metais não ferrosos	49
3.8.1 - Análise de indicadores	50
3.8.2 - Alumínio	52
3.8.3 - Cobre	53
3.8.4 - Zinco	54
3.8.5 - Silício metálico	54
3.8.6 - Níquel	54
3.8.7 - Estanho	55
3.8.8 - Chumbo	55
3.8.9 - Magnésio	55
3.9 - Outras indústrias	56
3.9.1 - Análise de indicadores	56
3.10 - Setor de outros minerais não metálicos	58
3.10.1 - Cal	58
3.10.2 - Gesso	59
3.10.3 - Análise de indicadores	59
3.11 - Setor de papel e celulose	61
3.11.1 - Análise de indicadores	64

3.12 - Setor químico	67
3.12.1 - Segmentos da indústria química	68
3.12.1.1 - Indústria petroquímica	68
3.12.1.2 - A indústria de química fina	68
3.12.2 - Matérias-primas	69
3.12.3 - Cadeias produtivas	69
3.12.4 - Análise de indicadores.	70
3.12.5 - Possíveis rupturas	73
3.13 - Setor siderúrgico	74
3.13.1 - Etapas de produção	74
3.13.1.1 – Redução	74
3.13.1.2 - Refino	75
3.13.1.3 - Lingotamento	76
3.13.1.4 - Laminação	76
3.13.2 - Análise de indicadores	76
3.14 - Setor têxtil	79
3.14.1 - Análise de indicadores	80
3.15 - Indústria de vidros	83
3.15.1 - Análise de indicadores	83
3.16 – Algumas comparações	86
Capítulo 4 - Análise Prospectiva dos Setores Industriais	89
4.1 - Setor de alimentos e bebidas	90
4.2 - Setor de cerâmica	92
4.3 - Setor de cimento	94
4.4 - Setor de indústria extrativa mineral	96
4.5 - Setor de Ferro Ligas	98
4.6 - Setor de Fundições	99
4.7 - Setor de metais não ferrosos	102
4.8 - Outras indústrias	104
4.9 - Setor de outros minerais não metálicos	106
4.10 - Setor de papel e celulose	108

4.11 - Setor químico	110
4.12 - Setor siderúrgico	112
4.13 - Setor têxtil	114
4.14 - Indústria de vidros	116
4.15 - Resultados e conclusões	119
Capítulo 5 – Conclusões	124
5.1 – Contribuições desta dissertação e trabalhos futuros	125
Referências Bibliográficas	127
Anexo – Gráficos complementares	132

Lista de Figuras

3.1	Distribuição do consumo energético do setor industrial, em 2006	26
3.2	Distribuição do consumo de energia elétrica do setor industrial, em 2006	26
3.3	Consumo energético do setor de alimentos e bebidas, em PJ, de 1995 a 2006	29
3.4	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de alimentos e bebidas, de 1998 a 2005	29
3.5	Intensidade energética do setor de alimentos e bebidas	30
3.6	Consumos energéticos específicos do setor de alimentos e bebidas, em GJ/t, de 2000 a 2005	30
3.7	Consumo energético do setor cerâmico, em PJ, de 1995 a 2006	33
3.8	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de cerâmica, de 1996 a 2005	33
3.9	Intensidade energética do setor de cerâmica, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1996 a 2005	34
3.10	Consumos energéticos específicos do setor de cerâmica, em GJ/t, de 1999 a 2005	34
3.11	Consumo energético do setor cimento, em PJ, de 1995 a 2006	38
3.12	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de cimento, de 1995 a 2006	38
3.13	Intensidade energética do setor de cimento, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1996 a 2005	39

3.14	Consumos energéticos específicos do setor de cimento, em GJ/t, de 1996 a 2005.	39
3.15	Consumo energético do setor da indústria extrativa mineral, em PJ, de 1970 a 2006	42
3.16	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor da indústria extrativa mineral, de 1995 a 2006	42
3.17	Intensidade energética do setor de extrativa mineral, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1996 a 2005	43
3.18	Consumos energéticos específicos do setor de extrativa mineral, em GJ/t, de 1997 a 2006	43
3.19	Consumo energético do setor de ferro ligas, em PJ, de 1995 a 2006	45
3.20	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de ferro ligas, de 1995 a 2006	45
3.21	Consumos energéticos específicos do setor de ferro ligas, em GJ/t de 2001 a 2006	46
3.22	Consumo energético do setor de fundições, em PJ, de 2001 a 2005	48
3.23	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de fundições, de 2001 a 2006	48
3.24	Intensidade energética do setor de fundições, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 2001 a 2005	49
3.25	Consumos energéticos específicos do setor de fundições, em GJ/t de 2001 a 2006	49
3.26	Consumo energético do setor de metais não ferrosos, em PJ, de 1995 a 2006	50
3.27	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de metais não ferrosos, de 1995 a 2006	50
3.28	Intensidade energética do setor de metais não ferrosos, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1996 a 2005	52
3.29	Consumos energéticos específicos do setor de metais não ferrosos, em GJ/t de 1998 a 2006	52

3.30	Consumo energético da categoria “outras indústrias”, em PJ, de 2001 a 2006	57
3.31	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos na categoria “outras indústrias”, de 2001 a 2006	57
3.32	Intensidade energética da categoria “outras indústrias”, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 2001 a 2005	58
3.33	Consumo energético do setor de outros minerais não metálicos, em PJ, de 2001 a 2006	60
3.34	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de outros minerais não metálicos, de 2001 a 2006	60
3.35	Intensidade energética do setor de outros minerais não metálicos, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 2001 a 2005	61
3.36	Consumos energéticos específicos do setor de outros minerais não metálicos, em GJ/t, de 2001 a 2005.	61
3.37	Consumo energético do setor de papel e celulose, em PJ, de 1995 a 2006	65
3.38	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de papel e celulose, de 1995 a 2006	65
3.39	Intensidade energética do setor de papel e celulose, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1995 a 2005	67
3.40	Consumos energéticos específicos do setor de papel e celulose, em GJ/t, de 1996 a 2005	67
3.41	Consumo energético do setor químico, em PJ, de 1995 a 2006	71
3.42	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor químico, de 1995 a 2006	71
3.43	Intensidade energética do setor químico, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1995 a 2005	72
3.44	Consumos energéticos específicos do setor químico, em GJ/t, de 2002 a 2005	72
3.45	Consumo energético do setor siderúrgico, em PJ, de 1995 a 2006	78
3.46	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor siderúrgico, de 1995 a 2006	78

3.47	Intensidade energética do setor siderúrgico, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1995 a 2005	79
3.48	Consumos energéticos específicos do setor siderúrgico, em GJ/t, de 1995 a 2006	79
3.49	Consumo energético do setor têxtil, em PJ, de 1995 a 2006	81
3.50	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor têxtil, de 1995 a 2006	81
3.51	Intensidade energética do setor têxtil, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1996 a 2005	82
3.52	Consumos energéticos específicos do setor têxtil, em GJ/t, de 2000 a 2006	82
3.53	Consumo energético da indústria de vidros, em PJ, de 1995 a 2006	85
3.54	Parcelas de mercado dos energéticos consumidos na indústria de vidros, de 2001 a 2006	85
3.55	Intensidade energética da indústria de vidros, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 2001 a 2005	85
3.56	Consumos energéticos específicos da indústria de vidros, em GJ/t, de 1998 a 2005	85
4.1	Projeção do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de alimentos e bebidas	91
4.2	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de alimentos e bebidas	92
4.3	Projeção do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de cerâmica	93
4.4	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de cerâmica	94
4.5	Projeção do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de cimento	95
4.6	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de cimento	96

4.7	Projeção do consumo energético, em PJ de 1995 a 2020, para o setor da indústria extrativa mineral	97
4.8	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor da indústria extrativa mineral	98
4.9	Projeções dos consumos de energia térmica, elétrica e total, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de ferro ligas	99
4.10	Projeção do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de fundições	100
4.11	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de fundições	101
4.12	Projeção do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de metais não ferrosos	102
4.13	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de metais não ferrosos	103
4.14	Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para outras indústrias	104
4.15	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para outras indústrias	105
4.16	Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de outros minerais não metálicos	106
4.17	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de outros minerais não metálicos	107
4.18	Projeção do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de papel e celulose	109
4.19	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de papel e celulose	110
4.20	Projeção do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor químico	111
4.21	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor químico	112

4.22	Projeção do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor siderúrgico	113
4.23	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor siderúrgico	114
4.24	Projeção do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor têxtil	115
4.25	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor têxtil	116
4.26	Projeção do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de vidros	117
4.27	Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de vidros	118

Lista de Tabelas

2.1	Caracterização dos cenários mundiais	9
2.2	Caracterização dos cenários nacionais	10
2.3	Taxas de crescimento econômico do Brasil e do mundo nos cenários do PNE 2030	11
2.4	Projeções do FMI para o crescimento anual, em %, do PIB do Brasil	13
2.5	Taxa de investimento e taxa de crescimento do PIB no cenário de referência do Plano Decenal 2008 - 2017	13
2.6	Projeções da EIA/DoE para as taxas de crescimento anuais, em %, dos Produtos Internos Brutos do Brasil e do Mundo para o período 2005-2030	14
3.1	Classificação do cimento por adição de matéria prima	36
3.2	Indicadores econômicos e de consumos energéticos para os setores industriais analisados, em 2005	87
3.3	Indicadores energéticos para os setores industriais analisados, em 2005	88
4.14	Projeções dos consumos energético e elétrico dos setores industriais, em PJ, em 2020 e as suas taxas de crescimento, em %, em relação a 2006	120
4.15	Projeções dos consumos energético e elétrico do setor industrial, em PJ, em 2020 e as suas taxas de crescimento, em %, anuais e em relação a 2006	122

Nomenclatura

Abreviações

CE_i - Consumo energético total do setor, ou do segmento *i*;

CEsp_i - consumo específico do setor *i*

CI - Consumo intermediário

Part_i - Participação do setor *i* na formação do PIB.

PIB - Produto Interno Bruto.

Tx. Inv_i - Taxa de investimento

VA - Valor adicionado

VA_i - Valor agregado do setor, ou do segmento *i*;

VBP - Valor bruto da produção

VP - Valor da produção

VU_i - Valor unitário de produção

Siglas

PNE 2030 - Plano Nacional de Energia 2030

PDE 2008 - Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017

Capítulo 1

Introdução

A energia é um insumo básico utilizada em praticamente todas as atividades humanas. Desde a descoberta do fogo, diversas fontes de energia têm sido descobertas e/ou desenvolvidas para promover maior desenvolvimento. Entretanto, os principais recursos energéticos utilizados são finitos, e por isso requerem um uso sustentável. Neste contexto, o estudo de sistemas energéticos é importante para detectar os desperdícios existentes, bem como para prever possíveis gargalos na oferta e demanda de energia.

Os modelos energéticos funcionam como importante ferramenta para tomada de decisão e formulação de políticas públicas no setor energético. Em especial, os modelos de projeção de demanda são necessários, pois dado o tempo de construção de uma infra-estrutura adequada, as decisões em energia devem ser antecipadas em muitos anos.

O setor industrial brasileiro é responsável por cerca de 20% do Produto Interno Bruto e 35% do consumo energético nacional. Trata-se de um setor bastante heterogêneo, com inúmeras cadeias produtivas envolvendo diversos usos finais da energia. Projeções da demanda energética deste setor devem levar em conta esta heterogeneidade, através de uma desagregação adequada. Os modelos de projeção desta demanda também devem ser capazes de simular mudanças tecnológicas, impactos de programas de eficiência energética e o efeito de variáveis macroeconômicas. Este trabalho projeta a demanda energética do setor industrial desagregando-a de forma a contemplar melhor suas peculiaridades.

No capítulo dois é realizado um estudo dos modelos energéticos utilizados atualmente, bem como de suas potencialidades e vulnerabilidades. Apresenta-se, também, uma análise dos cenários utilizados nos principais estudos de projeção de demanda energética para a economia brasileira. O capítulo contém uma descrição do modelo formulado para as projeções de consumo energético deste trabalho e dos cenários alternativos escolhidos para explorar os impactos, nas demandas energéticas, de diversas configurações de crescimento econômico e de políticas de conservação de energia.

O capítulo três apresenta uma análise do setor industrial dividido em quatorze segmentos. Para cada segmento industrial faz-se uma caracterização de suas cadeias produtivas, consumo energético e produções física e econômica. Analisam-se, ainda, diversos indicadores econômicos e energéticos, para se entender seu comportamento no passado e detectar tendências futuras. Faz-se, também, uma análise comparativa dos indicadores econômicos e energéticos de todos estes segmentos do setor industrial.

No capítulo quatro são apresentadas as projeções de demanda energética realizadas pelo modelo de desagregação estrutural, utilizando cenários alternativos de crescimento econômico, assim como cenários de conservação de energia para cada segmento industrial. Este modelo utiliza parâmetros levantados durante a análise retrospectiva e permite a simulação de rupturas dos padrões históricos das demandas energéticas a serem projetadas. Por fim, as projeções para todo o setor industrial são comparadas com as projeções efetuadas para este setor no Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030).

O último capítulo contempla as conclusões da dissertação e possíveis desdobramentos futuros deste trabalho.

Capítulo 2

Modelos Energéticos

Os modelos energéticos funcionam como importantes ferramentas para a tomada de decisão e formulação de políticas públicas no setor energético. Em particular, os modelos de projeção de demanda são essenciais, pois dado o tempo de construção de uma infra-estrutura adequada, as decisões de investimentos no suprimento de energia devem ser antecipadas em muitos anos. É necessário que estes modelos produzam resultados confiáveis, pois subestimativas implicarão em restrições ao abastecimento de energia, e estimativas exageradas implicarão em investimentos desnecessários.

2.1- Histórico

Até a década de 1960, a maioria dos modelos de planejamento da expansão de sistemas energéticos era setorial, com modelagens separadas da demanda e da oferta. Na modelagem da demanda empregavam-se técnicas econométricas, enquanto que na modelagem da oferta fazia-se uso de técnicas relativamente simples de simulação.

Com os choques dos preços do petróleo, em 1973 e 1979, houve uma verdadeira revolução na modelagem de sistemas energéticos. Modelos multisetoriais e globais, assim como modelos integrados de demanda e oferta, passaram a ser mais utilizados, visando à busca de alternativas para diminuir a dependência de derivados de petróleo.

Foi desenvolvida, também, nos países desenvolvidos, a categoria dos modelos técnico-econômicos, contábeis ou de simulação para a projeção da demanda energética. Estes modelos requerem a realização de levantamentos de campo para determinar as distribuições, por usos finais e/ou tipos de equipamentos, da demanda de energia. Tais modelos se mostraram convenientes para simular rupturas de padrões estabelecidos de consumo de energia, como estavam ocorrendo na época (Bajay, 1983).

A competição criada com os novos modelos de projeção da demanda energética provocou grandes avanços metodológicos no uso dos modelos econométricos (Griffin, 1990), incluindo formulações teóricas mais elaboradas, envolvendo ajustes parciais ao longo do tempo e variáveis explanatórias mudas. O cruzamento de dados em séries temporais com dados em seção transversal passou a ser utilizado para resolver os freqüentes problemas de multicolinearidade ocasionados pelo emprego de modelos com múltiplas variáveis e/ou variáveis defasadas no tempo. Estas formulações, mais elaboradas, dos modelos econométricos passaram a requerer métodos estatísticos mais sofisticados para a estimação de seus parâmetros, tais como o método dos mínimos quadrados generalizado e o método da máxima verossimilhança.

Os planos de expansão, incluindo as projeções de mercado, passaram a adquirir um caráter de estudos prospectivos (Araújo, 1988), empregando, em geral, a técnica de cenários. O planejamento da oferta a longo prazo passou a ter uma conotação indicativa, que se transformava, eventualmente, em determinativa só no curto e médio prazos.

2.2 – Tipos de modelos energéticos

Os modelos utilizados para o planejamento de sistemas energéticos podem ser classificados, de uma forma geral, como modelos de demanda, de oferta e modelos integrados de demanda e oferta (Araújo, 1988).

Estes modelos também podem ser classificados como modelos setoriais, multisetoriais e globais. Os modelos setoriais abordam apenas um setor da indústria de energia. Os modelos multisetoriais representam dois ou mais setores energéticos relacionados entre si. Os modelos

globais trabalham com todos os setores que compõem a indústria de energia em uma dada região. (Bajay, 2006).

Os modelos de projeção, a longo prazo, da demanda de energia podem ser classificados como: econométricos; técnico-econômicos e mistos. De acordo com a abordagem adotada no modelo, eles podem ser classificados como “*top-down*”, quando os segmentos consumidores são analisados de uma forma agregada, ou “*bottom-up*”, quando são identificadas atividades homogêneas e demandas por uso final da energia (Bhattacharyya, 2008).

Os modelos econométricos realizam projeções da demanda de energia utilizando relações econométricas que tem como variáveis explanatórias grandezas econômicas clássicas como renda, investimento, valor adicionado e preços. As relações funcionais empregadas podem ser simples regressões empíricas, ou, então, elaboradas funções de demanda ou de produção, como a translog, com mecanismos de ajuste parcial do estoque de equipamentos ao longo do tempo, que exigem técnicas estatísticas avançadas para a estimação dos parâmetros dos modelos (Bajay, 1983). Estes modelos são mais adequados para a projeção da demanda energética no curto e médio prazos e, em geral, não são adequados para representar possíveis rupturas futuras em padrões tecnológicos ou econômicos consolidados.

Os modelos técnico-econômicos, contábeis ou de simulação foram desenvolvidos, em geral, para projeções a longo prazo e para modelar possíveis rupturas em padrões tecnológicos ou econômicos. Exemplos importantes destes modelos são as matrizes insumo-produto e os modelos de decomposição estrutural. Estes modelos usualmente trabalham com uma estrutura de demanda bastante desagregada, por uso final da energia e, eventualmente, tipos de equipamentos por uso final. Diferente dos modelos econométricos, não são necessárias séries históricas para suas variáveis explanatórias; bastam se ter estes dados para um ano de referência, o mais próximo possível do presente, e os modelos projetam os parâmetros escolhidos para os momentos desejados no futuro, sem se preocupar com as trajetórias envolvidas. Por não se preocupar com tais trajetórias e devido ao grande número de variáveis e parâmetros envolvidos, boa parte dos quais tem que ser estimados a partir de caros levantamentos de campo, difíceis de serem

financiados em muitos países, sobretudo nos países em desenvolvimento, este tipo de modelo de projeção da demanda energética pode gerar resultados completamente irrealistas (Bajay, 2006).

Os modelos mistos de projeção utilizam relações econométricas para estabelecer cenários tendenciais ou de referência e para explicar a evolução de algumas variáveis. Estes modelos em geral adotam uma estrutura de projeção a mais desagregada possível (por uso final de energia e tipos de equipamentos), compatível com a quantidade e qualidade dos dados disponíveis, e empregam vários tipos de simulações em cenários alternativos para representar possíveis rupturas futuras em relação aos padrões tecnológicos, macroeconômicos, sociais e políticos vigentes. Os modelos mistos são uma tentativa de minimizar as restrições intrínsecas aos modelos puramente econométricos e aos modelos técnico-econômicos, incorporando algumas de suas qualidades. Os modelos de desagregação estrutural integram a categoria de modelos mistos.

Entre os modelos energéticos integrados de demanda e oferta, destacam-se os modelos de equilíbrio, que se desenvolveram tanto na forma de modelos de equilíbrio parcial ou setorial, como na forma de modelos de equilíbrio geral. Apesar das vantagens teóricas desta segunda categoria, os modelos de equilíbrio parcial têm sido mais empregados, até agora, no setor energético, devido à possibilidade de se representar as características, sobretudo tecnológicas e econômicas, deste setor com os detalhes necessários aos estudos, limitado tão somente às restrições inerentes ao nível de agregação dos dados disponíveis (Bajay, 2003).

Todos os tipos de modelos aplicados a sistemas energéticos possuem vantagens e desvantagens e, usualmente, se escolhe o mais adequado deles para as finalidades específicas de cada exercício de projeção.

2.3 - Tratamento de incertezas

Os principais métodos utilizados no tratamento de incertezas em modelos de planejamento da expansão de sistemas energéticos são: análise de sensibilidade; análise paramétrica; métodos de otimização empregando álgebra nebulosa; emprego de distribuições de probabilidades em modelos de otimização ou de simulação; emprego de processos estocásticos

em modelos de otimização ou de simulação; elaboração de cenários alternativos de desenvolvimento; pesquisas de opinião do tipo Delphi; uso de técnicas de inteligência artificial; e emprego da teoria de jogos e teoria de leilões (Bajay, 2004).

Desde a década de 1970, o setor energético tem utilizado, no mundo todo, cenários alternativos de desenvolvimento em projeções da demanda e da oferta de energéticos. Empregam-se estes cenários para se explorar distintas rotas de crescimento da economia, ou, então, para se testar o impacto de novas políticas públicas, nas áreas econômica, tecnológica, energética ou ambiental. Os cenários podem ser usados em projeções da demanda energética, ou de uma forma conjunta com alternativas do lado da oferta (Bajay et alii, 2008).

Conforme Utgikar (2006), os principais erros cometidos em projeções energéticas ocorrem por conta do uso de técnicas de projeção inadequadas, mudanças tecnológicas não previstas e hipóteses sócio- políticas e econômicas irrealistas. As hipóteses econômicas, no entanto, são os principais parâmetros determinantes para a precisão de uma projeção da demanda energética. Por isso, nesta dissertação, são realizadas projeções energéticas para diversos cenários econômicos.

2.4 - Estudos de cenários

O objetivo do uso de cenários em estudos de longo prazo não é se tentar prever o futuro que, de fato, irá acontecer, mas sim explorar os possíveis impactos, na demanda energética, por exemplo, se certas configurações futuras ocorrerem, no que diz respeito à estrutura e ao desempenho da economia, e eventuais novas políticas públicas (Bajay, 2006).

Na elaboração de cenários é necessário detectar as tendências mais marcantes no passado para antecipar as prováveis trajetórias futuras. A formulação destas hipóteses pode ser feita através de um estudo retrospectivo das séries históricas das variáveis relacionadas ao tema abordado. É necessário levar em consideração os possíveis avanços da ciência e da tecnologia para considerar, no futuro, possíveis rupturas das tendências detectadas.

A metodologia baseada em cenários necessita, além de boa base de dados para detectar as tendências ocorridas no passado, de recursos humanos capacitados para a análise. Para isso, este trabalho contou com o auxílio de especialistas capacitados em todos os segmentos nos quais o setor industrial foi dividido. Essa equipe possui uma formação multidisciplinar e um conhecimento amplo das variáveis adotadas, tornando factível a tentativa de inferir o comportamento destes setores em todo o período analisado.

Através de um estudo dos principais trabalhos de projeção de demanda energética e dos cenários por eles adotados para o Brasil, foi possível se escolher os cenários e as hipóteses a elas associadas, adotadas nesta dissertação.

2.4.1 - Plano Nacional de Energia 2030

O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) utiliza a técnica de cenários para a prospecção da oferta e demanda de energia. A construção de cenários não tem como alvo acertar qual será o estado futuro de um conjunto pré-definido de variáveis. A essência do processo consiste na tentativa de identificação de diferentes trajetórias que tais variáveis poderão percorrer, gerando diferentes estados finais (EPE, 2007b).

Na análise do contexto internacional, foram elaborados alguns cenários mundiais, que se apresentam como condições de contorno para a elaboração dos cenários nacionais do PNE 2030. Três elementos básicos de incerteza foram simulados nestes cenários: o padrão de globalização; a estrutura do poder político e econômico; e a solução de conflitos. Os cenários globais do plano foram denominados “Mundo Uno”, “Arquipélago”, e “Ilha”, conforme indicado na Tabela 2.1.

Na formulação dos cenários nacionais foram levadas em conta as potencialidades e os obstáculos que o País apresenta em face dos contextos mundiais descritos, conforme apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.1: Caracterização dos cenários mundiais

Incertezas críticas	Denominação dos cenários		
	Mundo Uno	Arquipélago	Ilha
Padrão de globalização	Conectividade máxima: multilateralismo	Conectividade parcial: blocos econômicos	Conectividade interrompida: protecionismo
Estrutura de poder político e econômico	Equilíbrio de forças e compartilhamento do poder político	Hegemonia dos blocos liderados pelos Estados Unidos e pela União Européia	Maior participação dos blocos dos países asiáticos
	Políticas macroeconômicas coordenadas	Recuperação do equilíbrio macroeconômico da economia americana por meio de ajuste interno	Ruptura das relações comerciais sino-americanas, seguida de lenta recuperação econômica
Solução de conflitos	Soluções negociadas	Conflitos localizados	Divergências acentuadas

Elaboração: EPE

Entre as principais potencialidades, destacam-se: instituições e estabilidade macroeconômica em processo de consolidação; grande mercado interno, com elevado potencial de crescimento; abundância de biodiversidade e de recursos naturais; fatores de produção competitivos, tais como potencial de energia renovável de baixo custo relativo ainda não aproveitado e setores da economia com alta competitividade nos mercados mundiais; e diversidade cultural e étnica.

Entre os principais obstáculos a superar podem ser citados: necessidade de expansão da infra-estrutura; concentração excessiva da renda e relevantes desigualdades regionais; fatores de produção com baixa competitividade (baixa qualificação da mão-de-obra, atraso tecnológico em vários setores da economia, etc.); elevado custo do capital e mercado de crédito de longo prazo pouco desenvolvido; e conflitos institucionais não equacionados adequadamente.

Tabela 2.2: Caracterização dos cenários nacionais

Incertezas críticas	Denominação dos cenários			
	A	B1	B2	C
	Na crista da onda	Surfando na marola	Pedalinho	Náufrago
Infra-estrutura	Redução significativa dos gargalos	Gargalos parcialmente reduzidos	Permanência de gargalos importantes	Deficiência relevante
Desigualdades de renda	Redução muito significativa	Redução relevante	Redução pequena	Manutenção
Competitividade dos fatores de produção	Ganhos elevados generalizados	Ganhos importantes porém seletivos	Ganhos pouco significativos e concentrados em alguns setores	Baixa, embora com ganhos concentrados em alguns setores.
Produtividade total da economia	Elevada	Média para elevada	Média para reduzida	Reduzida

Elaboração: EPE

Dentro de uma visão geral, pode-se caracterizar o Cenário A – “Na crista da onda”, associado à visão global denominada “Mundo Uno”, como aquele em que o País potencializa suas forças e remove os principais obstáculos ao crescimento, aproveitando o contexto externo extremamente favorável. Este cenário é caracterizado por um elevado nível de desenvolvimento econômico, marcado por uma gestão macroeconômica mais eficaz.

Os Cenários B1 – “Surfando a marola” e B2 – “Pedalinho” estão, ambos, referenciados à visão global denominada “Arquipélago”. Refletem o reconhecimento de que um cenário externo relativamente favorável não é garantia para sustentar um crescimento doméstico. No Cenário B1, o crescimento da economia brasileira supera um crescimento mais moderado da economia mundial, fruto de uma gestão mais ativa no encaminhamento dos problemas internos. No Cenário B2, o crescimento do País é equivalente ao do cenário mundial, por causa da dificuldade de enfrentar os problemas estruturais internos.

No Cenário C – “Náufrago”, o País se ressentir de um cenário mundial conturbado, onde os fluxos de capitais são virtualmente interrompidos e o comércio internacional se expande a taxas modestas, ou mesmo se retrai em alguns períodos. Nesse contexto, a economia internacional, afetada por uma crise gerada pelas dificuldades de equilíbrio das condições macroeconômicas dos EUA, tem baixo crescimento. Ainda assim, neste cenário, o crescimento do Brasil é igual à média mundial.

Note-se que, em nenhum dos cenários formulados, a economia brasileira cresce abaixo da média mundial, conforme indicado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Taxas de crescimento econômico do Brasil e do mundo nos cenários do PNE 2030

Cenários globais	Cenários nacionais	Comparações entre as taxas médias de crescimento
Mundo Uno	A1- "Na crista da onda"	Brasil > Mundo (5,1%) (3,8%)
	A2 - "Perdendo a onda"	-
Arquipélago	B1 - "Surfando na marola"	Brasil > Mundo (4,1%) (3,0%)
	B2 - "Pedalinho"	Brasil ~ Mundo (3,2%) (3,0%)
Ilhas	C - "Nadando contra a corrente" / "Náufrago"	Brasil ~ Mundo (2,2%) (2,2%)

Elaboração: EPE

Após os estudos dos cenários macroeconômicos realizados pelo PNE 2030 houve uma mudança metodológica no cálculo do Produto Interno Bruto (PIB). Com a nova metodologia passou-se a apurar mais fidedignamente os níveis de atividades de vários setores econômicos nacionais; a metodologia antiga subestimava as taxas de crescimento da economia brasileira (EPE, 2008).

2.4.2 - Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017 utilizou como pano de fundo os cenários adotados no Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) para definir as tendências de longo prazo. O Plano Decenal, por outro lado, incorpora elementos conjunturais de curto prazo, bem como definições e estratégias de médio prazo que podem influenciar alguns parâmetros dos cenários, em particular, as taxas de expansão da economia.

Nos estudos da demanda de energia, concluídos no final de 2007, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), responsável pela elaboração do Plano Decenal, admitia, no cenário macroeconômico de referência, que o PIB brasileiro seguiria uma trajetória de crescimento sustentado no período 2008-2017, com um valor médio da taxa de crescimento de 5% ao ano. Após a eclosão da crise financeira global, em 2008, as condições de partida para os anos de 2008 e 2009 foram significativamente alteradas. Naquele momento, os efeitos e a profundidade da crise não podiam ser avaliados em toda a sua extensão. A EPE decidiu por rever as taxas de crescimento da economia nos anos iniciais do horizonte de estudo, considerando um crescimento do PIB de 5% para 2008, e de 4 % para 2009. Para os anos subsequentes foi mantida a taxa de crescimento médio de 5% ao ano.

Entre os anos de 2009 e 2012, a expectativa para a economia nacional é que, apesar das perturbações no ambiente externo, a situação macroeconômica do Brasil seja sólida o suficiente de modo a se ter um crescimento médio de 4,2% para o PIB no período, mesmo após uma desaceleração no ritmo da expansão econômica em 2009.

A EPE também levou em conta, na formulação de seus cenários, projeções do FMI para o crescimento anual do PIB brasileiro. Estas projeções estão indicadas na Tabela 2.4.

A EPE considerou que a taxa de investimento da economia nacional manterá sua tendência de crescimento. O investimento continuaria, assim, representando um estímulo à expansão da demanda agregada, induzido, principalmente, pelas obras de infra-estrutura, especialmente as incluídas no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), e pela

necessidade de expansão dos insumos básicos (indústria pesada) e de bens de capital. (EPE, 2008). A Tabela 2.5 apresenta os valores da taxa de investimento e da taxa de crescimento do PIB considerados no cenário de referência do Plano Decenal.

Tabela 2.4: Projeções do FMI para o crescimento anual, em %, do PIB do Brasil

2008	2009	2010	2011	2012
4,8*	3,7*	4,5*	4*	4*
4,9**	4**	-	-	-

Notas: * World Economic Outlook 2008, em abril de 2008

**World Economic Outlook 2008, updated em julho de 2008

Fonte: Plano Decenal 2008 -2017

Tabela 2.5: Taxa de investimento e taxa de crescimento do PIB no cenário de referência do Plano Decenal 2008 -2017

	Histórico		Projeções	
	Últimos 10 anos	Últimos 5 anos	2008-2012	2013-2017
Taxa de investimento total (% do PIB)	16,5	16,2	18,9	20,6
Taxa de investimento público (% do PIB)			3,2	3,5
Taxa de crescimento do PIB (% a.a.)	2,5	3,2	4,7	5

Fonte: Plano Decenal 2008 -2017

2.4.3 - International Energy Outlook 2008

A Energy Information Administration (EIA), órgão ligado ao Department of Energy (DoE) do governo americano, publica, anualmente, dois relatórios contendo resultados de estudos prospectivos, um sobre a matriz energética americana, denominado *Annual Energy Outlook*, e o outro sobre a matriz energética mundial, denominado *International Energy Outlook*. Este último dá um tratamento individualizado para alguns países, entre eles o Brasil.

O *International Energy Outlook* aborda três cenários de crescimento da economia – alto, de referência e baixo. A Tabela 2.6 mostra as taxas de crescimento anuais do Produto Interno Bruto projetadas para o Brasil e para o mundo nos três cenários.

Tabela 2.6: Projeções da EIA/DoE para as taxas de crescimento anuais, em %, dos Produtos Internos Brutos do Brasil e do mundo para o período 2005-2030

	Cenário baixo	Cenário de referência	Cenário alto
Brasil	3,1	3,6	4
Mundo	3,5	3	4,4

Nota: Expresso em termos de paridade de poder de compra

Fonte: International Energy Outlook 2008

2.5 - Cenários adotados

Foram adotados, neste trabalho, três cenários de crescimento para a economia nacional:

- Cenário de baixo crescimento do PIB: 3% ao ano;
- Cenário de referência: crescimento do PIB de 4% ao ano; e
- Cenário de alto crescimento do PIB: 5 % ao ano.

Para cada cenário de crescimento econômico analisam-se dois cenários em termos de conservação de energia. No primeiro deles se assume que a tendência detectada na intensidade energética setorial irá continuar no futuro. O segundo é um cenário normativo de conservação, para o qual se adotam consumos específicos de energia térmica e energia elétrica baixos, correspondentes a tecnologias eficientes disponíveis no mercado e cuja utilização pode ser induzida através de novos programas institucionais que visem ganhos de eficiência energética.

2.6 - Base de dados

A base de dados utilizada no presente trabalho é composta por dados econômicos e de produção física e dados energéticos.

2.6.1 - Dados econômicos e de produção física

Os dados de valor adicionado utilizadas nesta dissertação foram derivados de duas publicações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): a Tabela de Recursos e Usos (TRU) do Sistema de Contas Nacionais (SCN) e a Pesquisa Industrial Anual Empresa/Produto (PIA), que são descritas a seguir. Os valores de investimentos foram obtidos dos anuários de entidades de classe empresariais e da Tabela de Desembolso do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Os dados de produção física foram obtidos dos anuários das entidades de classe dos segmentos industriais.

A Tabela de Recursos e Usos do SCN consolida as informações sobre a origem e o destino dos bens e serviços produzidos no País e permite não somente analisar, de forma integrada, a forma como cada setor institucional participa da geração, apropriação, distribuição e uso da renda e da acumulação de ativos não-financeiros, como também evidencia as relações entre a economia nacional e o resto do mundo. Além das relações intersetoriais, a Tabela de Recursos e Usos disponibiliza as variáveis que compõem o PIB, tais como o valor adicionado, por setores da economia, segundo uma classificação específica do SCN.

A Pesquisa Industrial Anual Empresa reúne um conjunto de informações econômico-financeiras por empresas que permitem estimar as características estruturais básicas do segmento empresarial da atividade industrial no País, bem como acompanhar a sua evolução ao longo do tempo. A pesquisa apresenta, entre outras informações, dados sobre pessoal ocupado, salários, retiradas e outras remunerações, receitas, custos e despesas, valor bruto da produção industrial e valor da transformação industrial, por segmentos industriais empresariais homogêneos, segundo a Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE), que possui um nível maior de desagregação que a classificação específica do SCN. A Pesquisa Industrial Anual Produto reúne

um conjunto de informações sobre valores e quantidades de produtos manufaturados e comercializados pelas empresas.

Conforme a nomenclatura da PIA, o Valor da Transformação Industrial (VTI) corresponde à diferença entre o Valor Bruto da Produção Industrial (VBPI), que é o valor da receita líquida industrial, e os Custos das Operações Industriais (COI). Por outro lado, conforme a nomenclatura da Tabela de Recursos e Usos, o Valor Adicionado é a diferença entre o Valor da Produção e o Consumo Intermediário, de forma que é possível estabelecer uma relação de equivalência entre o Valor da Transformação Industrial e o Valor Adicionado.

O nível de agregação dos setores industriais utilizado neste trabalho segue a classificação CNAE da PIA, mas os dados de VTI não podem ser usados diretamente como dados de VA por serem resultados de uma amostra abordando apenas uma parte (embora significativa) do universo nacional representado pela Tabela de Recursos e Usos.

Embora os níveis de agregação das classificações SCN e CNAE sejam diferentes, elas são compatíveis. Existe uma relação de correspondência entre ambas que possibilita desagregar o valor de VA de um determinado setor industrial da TRU proporcionalmente aos valores de VTI dos segmentos industriais correspondentes da PIA que compõem o referido setor da TRU, obtendo-se, assim, os valores adicionados setoriais conforme a Classificação Nacional das Atividades Econômicas.

Sobre a obtenção da correspondência entre as classificações SCN e CNAE deve ser observado que a relação é direta para muitos setores (por exemplo, o setor “X” da SCN é composto pelos segmentos “a”, “b” e “c” da CNAE), mas alguns dos segmentos da CNAE devem ser parcelados entre dois setores da TRU (por exemplo, o segmento “d” deve ser parcelado entre os setores “Y” e “Z”), e as participações foram calculadas proporcionalmente ao valor dos produtos das empresas que compõem o segmento, obtidas das informações da Pesquisa Industrial Anual - Produto. Essas participações foram obtidas anualmente para o período de publicação da PIA (2001 a 2005) e utilizou-se a média desses valores para os outros anos (1995 a 2000 e 2006).

2.6.2 - Dados energéticos

Os dados energéticos foram obtidos do Balanço Energético Nacional 2007 (BEN2007). Para cada setor industrial utilizou-se as séries históricas de consumo energético por fonte. Para alguns setores, tais como o Setor de Fundições, o Setor de Outros Minerais não Metálicos, e o Setor de Vidros os dados energéticos foram retirados de anuários produzidos por estes setores. Em alguns casos, estimativas tiveram que ser feitas para se montar a série histórica de consumo energético.

2.7 – O Modelo de Desagregação Estrutural

2.7.1 - Descrição do modelo

O modelo de desagregação estrutural pode ser usado como um modelo misto de projeção da demanda energética. Ele permite a simulação de rupturas dos padrões históricos da demanda a ser projetada, devido a mudanças estruturais na economia, ou novas políticas tecnológicas, energéticas ou ambientais. O modelo requer a análise de padrões históricos, detectando-se as tendências existentes. Pode-se, então, ajustar regressões econométricas aos dados históricos disponíveis. As tendências detectadas, ou as regressões obtidas, servem como referências, ou balizadores, para a simulação das eventuais rupturas acima mencionadas.

Dada a sua grande flexibilidade, o modelo de projeção baseado na decomposição estrutural da demanda energética tanto pode produzir resultados facilmente comparáveis com os resultados de outros tipos de modelos de projeção, como pode ser usado, sem dificuldades, de uma forma complementar com outros modelos.

Segundo Bajay (2006), três outras vantagens da metodologia de projeção baseada na decomposição estrutural da demanda energética são:

- A mesma estrutura de decomposição pode ser usada em análises retrospectivas (Tolmasquim *et alii*, 1998) e prospectivas (ANP, 2001), facilitando o uso das primeiras para prover fundamentais subsídios para os estudos prospectivos;
- As equações básicas de decomposição da demanda energética, neste método, podem facilmente ser complementadas com outras equações, que detalhem a evolução dos parâmetros das equações básicas.
- O problema da competição entre os energéticos possui um papel de destaque, requerendo hipóteses de evolução futura claras e explícitas, nesta metodologia. Esta característica é essencial em projeções para o longo prazo, onde mudanças econômicas, tecnológicas e culturais (hábitos) podem alterar substancialmente as atuais parcelas de mercado dos diversos energéticos.

O consumo de energia é melhor compreendido quando dividido nos setores residencial, comercial e de serviços, transporte, agropecuário e industrial, devido aos diferentes usos que cada setor faz da energia. No setor industrial a energia, em geral, é um insumo do processo produtivo.

As principais variáveis econômicas envolvidas no modelo de desagregação estrutural são o PIB e o Valor Agregado.

O Produto Interno Bruto (PIB) pode ser entendido como a mensuração da riqueza gerada por certo espaço geoeconômico em um determinado intervalo de tempo, havendo três óticas para se estimar corretamente o valor do PIB: produção, renda e dispêndio (ANP, 2001). Pela ótica da produção, o PIB é igual à soma do valor da produção (VP) de cada um dos bens e serviços produzidos em uma economia, em um dado intervalo de tempo, denominado de valor bruto da produção (VBP), deduzido deste montante a parcela relativa à soma dos valores da produção dos bens e serviços utilizados como insumos no processo produtivo dessa economia no mesmo intervalo de tempo, ou seja, o consumo intermediário (CI). Deste modo, tem-se:

$$PIB = VBP - CI \quad (2.1)$$

De maneira equivalente, considerando que a economia é formada por um conjunto de atividades, pode-se obter o valor do PIB através do somatório do valor agregado, ou valor adicionado (VA) de cada atividade ou setor da economia. O valor agregado de um determinado setor da economia (VA_i) é igual à diferença entre o valor da produção deste setor (VP_i) subtraído do consumo intermediário deste mesmo setor (CI_i) em um dado período.

$$VA_i = VP_i - CI_i \quad (2.2)$$

O PIB é a soma dos valores adicionados, a preços de mercado, dos vários setores que compõem a economia:

$$PIB = \sum VA_i \quad (2.3)$$

Pelo modelo da desagregação estrutural, o consumo total de energia dos setores comercial e serviços, de transportes, agropecuário e industrial, assim como de segmentos que constituem estes setores, pode ser determinado a partir da seguinte expressão básica:

$$CE_i = \frac{CE_i}{VA_i} \cdot \frac{VA_i}{PIB} \cdot PIB \quad (2.4)$$

onde:

CE_i é o consumo energético total do setor, ou do segmento i ;

VA_i é o valor agregado do setor, ou do segmento i ; e

PIB é o Produto Interno Bruto.

A maior limitação do uso da metodologia de desagregação estrutural para projeções da demanda energética é que ela não garante consistência macroeconômica entre os setores da economia, e por isso, as hipóteses, nos cenários alternativos de desenvolvimento, sobre a evolução esperada do PIB, valores adicionados setoriais, intensidades energéticas e parcelas de mercado dos diversos energéticos que suprem os mercados setoriais devem ser coerentes entre si, a fim de que as projeções resultantes sejam verossímeis.

2.7.2 - Indicadores analisados

Para detectar as tendências das variáveis explanatórias do modelo é feito um estudo retrospectivo de alguns indicadores econômicos e energéticos. Os indicadores analisados neste trabalho são:

I) Participação no PIB

A participação do setor i na formação do PIB ($Part_i$) é a razão entre o valor agregado e o Produto Interno Bruto.

$$Part_i = \frac{VA_i}{PIB} \quad (2.5)$$

II) Taxa de investimento

A razão entre os investimentos realizados pelo setor i e o valor agregado do setor i representa a taxa de investimentos. Este indicador é um balizador para o estabelecimento da taxa de crescimento setorial e também para a projeção da produção física.

$$Tx.Inv_i = \frac{Inv_i}{VA_i} \quad (2.6)$$

III) Valor unitário da produção

Para segmentos da economia onde a produção é homogênea, como na indústria de papel e celulose e na indústria de cimento, pode-se calcular o valor unitário da produção através da relação entre o valor agregado (VA_i) e a produção física (PF_i). Este indicador é influenciado fortemente pelas condições do mercado.

$$VU_i = \frac{VA_i}{PF_i} \quad (2.7)$$

IV) Parcela de mercado

A parcela de mercado do energético j no setor i ($Parc_{ij}$) é o consumo do energético j pelo setor i , dividido pelo consumo energético total do setor i .

$$Parc_{ij} = \frac{CE_{ij}}{CE_i} \quad (2.8)$$

V) Consumo específico

A relação entre o consumo de energia (CE_i) e a produção física (PF_i) do setor i representa o consumo específico do setor i ($CEsp_i$) e pode ser utilizado para analisar os ganhos de eficiência energética ocorridos neste setor.

$$CEsp_i = \frac{CE_i}{PF_i} \quad (2.9)$$

VI) Intensidade energética

A razão entre o consumo energético (CE_i) e o valor agregado do setor i (VA_i) representa a intensidade energética deste setor.

$$Int.En_i = \frac{CE_i}{VA_i} \quad (2.10)$$

Analogamente, a intensidade elétrica é a razão entre o consumo de eletricidade e o valor agregado do setor i . A intensidade de energia térmica é a razão entre o consumo de energia térmica e o valor agregado do setor i .

A intensidade energética, analisada conjuntamente com o consumo específico, fornece informações relativas à eficiência energética do setor.

2.8 – A metodologia utilizada na dissertação

As projeções para os setores industriais foram realizadas utilizando o modelo de desagregação estrutural, através de duas variantes. A primeira delas representa o consumo energético como o produto da intensidade energética com a participação no PIB e com o PIB.

Variante 1:

$$CE_i = \frac{CE_i}{VA_i} \cdot \frac{VA_i}{PIB} \cdot PIB \quad (2.11)$$

Multiplicando a intensidade energética pela produção física do setor no numerador e no denominador, obtém-se a segunda variante do modelo.

Variante 2:

$$CE_i = \frac{\frac{CE_i}{PF_i}}{\frac{VA_i}{PF_i}} \cdot \frac{VA_i}{PIB} \cdot PIB \quad (2.12)$$

A variante 2 do modelo de projeção envolve variáveis como consumo específico e valor unitário da produção setorial, além da participação no PIB e o próprio PIB.

A projeção da demanda energética, neste trabalho, é realizada em duas etapas: análise retrospectiva dos setores industriais e análise prospectiva dos setores industriais.

2.8.1 - Análise retrospectiva dos setores industriais

Nesta etapa é realizado um estudo das séries históricas de variáveis como consumo energético, valor adicionado, produção e investimento, analisando seu comportamento no período e detectando suas principais tendências.

A seguir, são calculados os indicadores descritos na seção 2.7.2 e, novamente, se faz um estudo de seus comportamentos, tendências e possíveis rupturas de tendências.

2.8.2 - Análise prospectiva dos setores industriais

Para fazer a análise prospectiva dos setores industriais foi necessário, primeiro, realizar entrevistas com engenheiros especialistas de cada setor para se elaborar hipóteses relativas ao crescimento futuro esperado dos diversos setores (VA_i) e relacioná-los ao crescimento do PIB.

Após a elaboração destas hipóteses, pôde-se projetar a demanda energética setorial através das seguintes etapas:

- 1) Projeta-se o PIB, que varia de acordo com o cenário de crescimento adotado: alto (5%), médio (4%) e baixo (3%).
- 2) Projeta-se a participação futura no PIB de cada segmento industrial através de regressão linear ou logarítmica, utilizando a que propicia melhor ajuste estatístico e melhor explicação econômica.
- 3) Projeta-se a intensidade energética, através de regressão linear ou logarítmica, utilizando a regressão que melhor se ajusta, do ponto de vista estatístico, e possui boa fundamentação técnica.
- 4) Projeta-se o valor unitário futuro para cada segmento industrial através de regressão linear ou logarítmica, utilizando a que propicia melhor ajuste estatístico e melhor explicação econômica.
- 5) Projeta-se o Consumo específico que varia de acordo com o cenário de conservação de energia adotado.
- 6) Por fim, projeta-se o consumo energético utilizando a variante 1 do modelo, conforme expresso na equação (2.11), nos cenários sem novos programas de conservação de energia

e através da variante 2, utilizando a equação (2.12), nos cenários contemplando tais programas.

A aplicação do modelo foi feita em planilha Excel, o que possibilitou armazenar toda a base de dados, realizar todos os cálculos e regressões necessárias, e, também, apresentar, de uma forma padronizada, os resultados obtidos através de diferentes combinações de cenários de crescimento econômico e de conservação de energia.

Capítulo 3

Análise retrospectiva dos setores industriais

3.1 - Setor industrial

O setor industrial gera grande parte do Produto Interno Bruto brasileiro. Em 2005, a participação deste setor foi de cerca de 18% do PIB nacional. O setor industrial também demanda boa parte da energia ofertada no Brasil. Em 2006, o consumo energético do Brasil foi de 8.495 PJ, dos quais 3.213 PJ, isto é 37,8%, foram consumidos pelo setor industrial. Em 2006, o consumo final de eletricidade no País foi de 1.404 GJ, com o setor industrial respondendo por 660 PJ, ou seja, 47% do total.

No presente trabalho dividiu-se o setor industrial em 14 setores utilizando a Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE). Os dados energéticos foram obtidos do Balanço Energético Nacional, exceto para alguns setores nos quais foram necessárias algumas estimativas, detalhadas no decorrer do texto. Os dados de produção foram obtidos através de anuários das associações de classes de cada setor. Os dados econômicos referentes a investimentos foram retirados de alguns dos anuários supracitados e, também, de estatísticas de desembolso do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Os dados referentes aos valores adicionados setoriais foram obtidos a partir do cruzamento de dados da Tabela de Recursos e Usos das Contas Nacionais, com dados de Valor da Transformação Industrial da Pesquisa Industrial Anual.

Em 2006, os setores industriais que mais consumiram energia no Brasil foram os setores de alimentos e bebidas, siderúrgico e papel e celulose, tendo sido responsáveis por, respectivamente, 25%, 22% e 10% de toda a energia consumida pelo setor industrial (vide Figura 3.1).

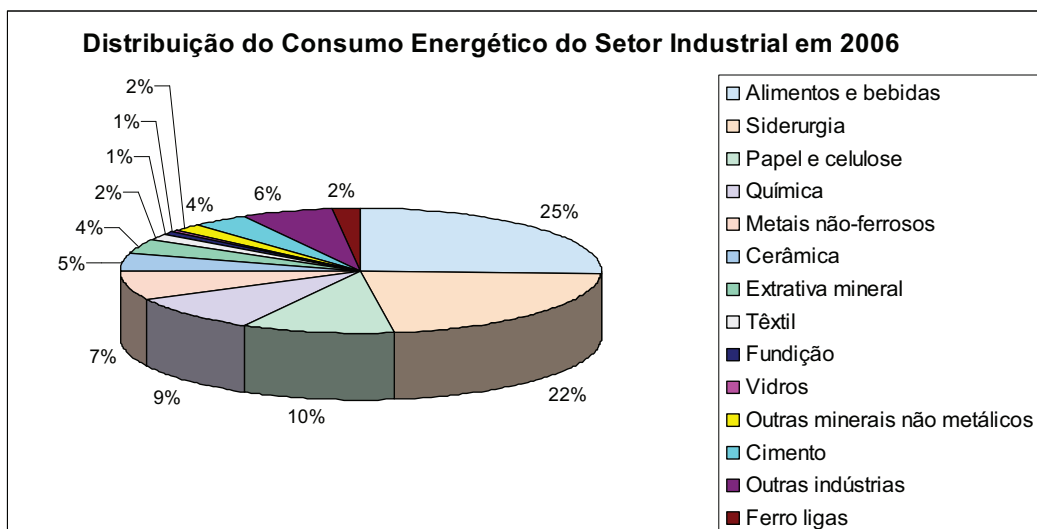


Figura 3.1: Distribuição do consumo energético do setor industrial em 2006

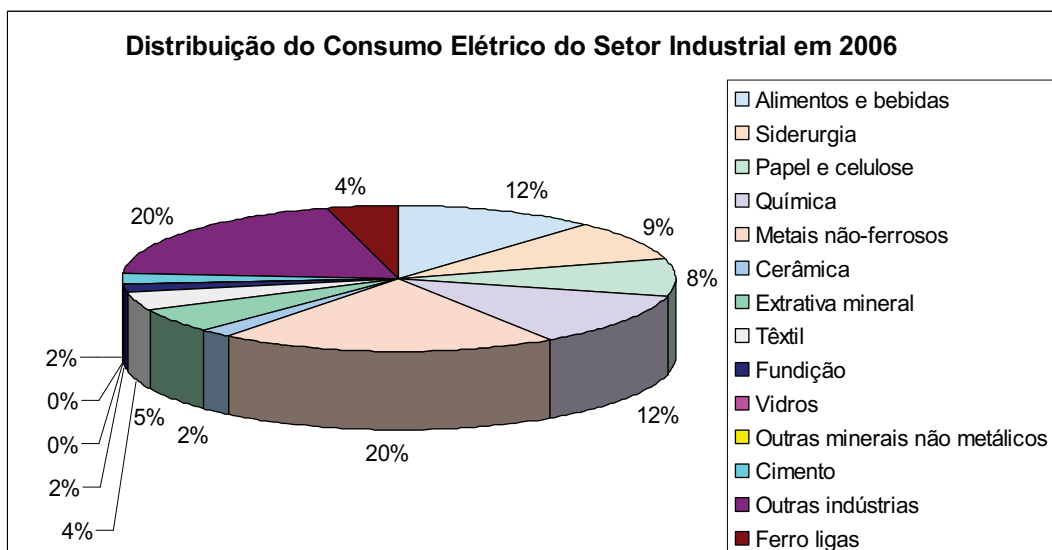


Figura 3.2: Distribuição do consumo de energia elétrica do setor industrial em 2006.

Em 2006, os setores industriais que mais consumiram energia elétrica foram o setor de metais não ferrosos e a categoria “outras indústrias”, responsáveis por 20%, cada um, de toda a eletricidade utilizada no setor industrial. Os setores de alimentos e bebidas e de papel e celulose também tiveram grandes participações no consumo de eletricidade, com 12% cada no consumo total (vide Figura 3.2).

3.2 - Setor de alimentos e bebidas

A indústria de alimentos é uma das principais indústrias de transformação do País, em termos tanto de valor bruto da produção como de participação no PIB. A estrutura de produção agrega mais de 850 tipos de produtos em incessante renovação, e um universo de 42 mil plantas industriais, responsáveis por cerca de 12 milhões de postos de trabalho diretos, que são multiplicados por três quando se levam em conta os empregos indiretos (Bajay *et alii*, 2008).

A indústria de alimentos e bebidas pode ser subdividida no segmento de alimentos e no de bebidas.

Entre os segmentos de alimentos destacam-se:

- O beneficiamento, moagem e torrefação de produtos alimentares;
- A produção de conservas de bens vegetais;
- O abate de animais e a produção de conservas de carnes;
- As atividades de pesca e correlatas;
- O beneficiamento de leite e a fabricação de produtos laticínios;
- A fabricação e o refino de açúcar;
- A produção de balas, chocolates e produtos afins;
- A produção de artigos de padaria, a fabricação de massas alimentícias e biscoitos;
- O refino e a preparação de óleos comestíveis;
- A fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais.

Entre os segmentos de bebidas, destacam-se:

- A produção e engarrafamento de bebidas alcoólicas - cervejas, chopes, maltes, vinhos, aguardentes, etc.
- A produção e engarrafamento de refrigerantes e sucos concentrados; e
- O engarrafamento de águas minerais.

Os processos que mais consomem energia na indústria de alimentos e bebidas são: secagem, processos de separação (evaporação e destilação), cozimento, refrigeração e fornecimento de vapor ou de água quente. Em quase todos os processos da indústria de alimentos e bebidas se necessita de água quente, ou vapor, gerado em caldeiras. O uso de fornos, secadores e equipamentos de refrigeração também é muito comum. O principal uso final da eletricidade na indústria de alimentos e bebidas é a força motriz, seguida pela refrigeração (MME, 2005a).

3.2.1 - Análise de indicadores

A indústria de alimentos e bebidas possui a maior participação no PIB de todos os setores industriais analisados nesta dissertação, atingindo 2,4 % em 2006. Neste mesmo ano, a maior parte de toda a movimentação financeira do setor foi realizada pelo segmento de alimentos 84,5%, enquanto bebidas foi responsável por 15,5 %, segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação (ABIA).

O valor adicionado do setor apresentou uma tendência de crescimento em todo o período analisado. Em 2000 houve uma queda. No entanto, nos anos seguintes, este segmento retomou o crescimento, a taxas mais elevadas do que antes de 2000.

A taxa de investimento na indústria de alimentos e bebidas, calculada com o auxílio da planilha de desembolso do BNDES para os segmentos industriais, situa-se em torno de 5% do valor adicionado. Nota-se um comportamento cíclico nos investimentos desta indústria.

Na indústria de alimentos e bebidas o energético mais importante é o bagaço da cana, um subproduto da produção de açúcar, que é utilizado em processos de cogeração de energia mecânica/elétrica e vapor de processo. O consumo de bagaço de cana apresenta forte crescimento em todo o período, atingindo 75,6 % de toda a matriz energética do setor, em 2006. Em seguida,

os energéticos de maior importância são a eletricidade e a lenha, com 9,18 % e 9,10 % da matriz energética do setor, respectivamente. Os demais energéticos consumidos pelo setor, agregados na categoria “outros”, representam apenas 6,06 % da matriz do setor, conforme indicado nas Figuras 3.3 e 3.4. A categoria “outros” compreende o carvão vapor, óleo diesel, óleo combustível, gás liquefeito de petróleo e querosene.

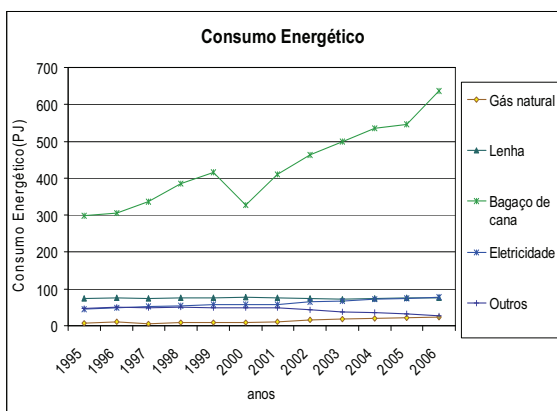


Figura 3.3: Consumo energético do setor de alimentos e bebidas, em PJ, de 1995 a 2006

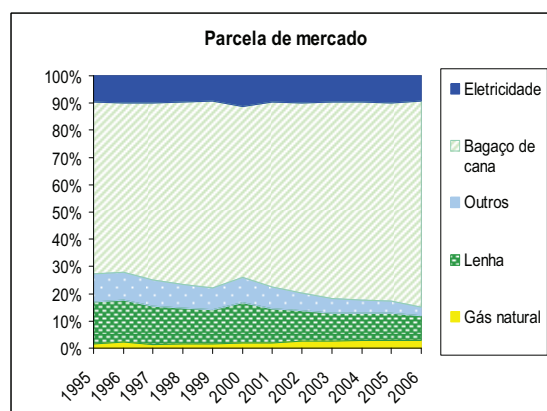


Figura 3.4: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de alimentos e bebidas, de 1998 a 2005

O gás natural apresentou uma considerável penetração no setor de alimentos e bebidas, apresentando um crescimento de aproximadamente 12 % ao ano, de 1995 a 2004. Neste mesmo período, o óleo combustível e o carvão vapor apresentaram decréscimos em sua utilização pelo setor, de 7,5 % e 7,3 % a.a., respectivamente.

A intensidade energética do setor de alimentos e bebidas apresenta uma tendência de crescimento no período analisado, que se deve ao forte crescimento do consumo energético a ele associado. Tanto a intensidade de energia térmica quanto a intensidade elétrica apresentam crescimento neste período (Figura 3.5). A intensidade energética apresentou um crescimento de 31% de 1995 a 2006, atingindo 2006 com 14.544 KJ/R\$ de 2005.

Os consumos específicos de energia térmica e de eletricidade apresentam-se crescentes no período analisado (Figura 3.6). Conseqüentemente, o consumo específico total também cresce.

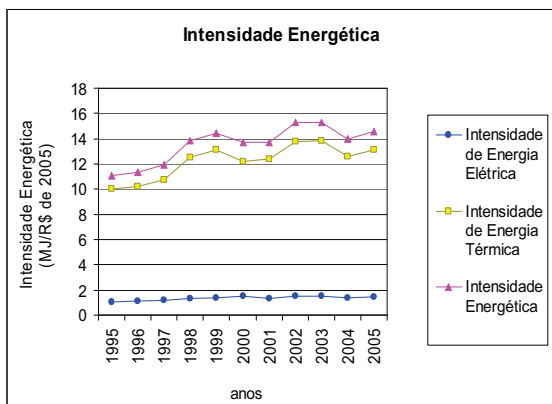


Figura 3.5: Intensidade energética do setor de alimentos e bebidas, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1995 a 2005

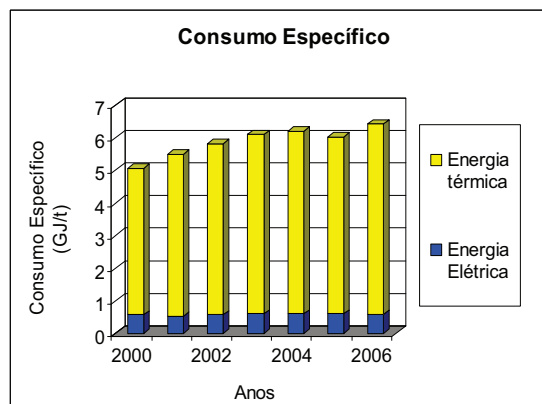


Figura 3.6: Consumos energéticos específicos do setor de alimentos e bebidas, em GJ/t, de 2000 a 2005

Os comportamentos dos indicadores de intensidade energética e de consumo específico mostram que o setor de alimentos e bebidas tem utilizado a energia de maneira intensiva e pouco eficiente. Em outros setores isso acarretaria altos prejuízos devido aos custos energéticos associados. No entanto, nesta indústria, a maior parte da energia consumida é gerada na própria usina, devido ao aproveitamento do bagaço da cana, o que reduz os custos associados à energia.

No setor de alimentos e bebidas, diferente dos demais setores, foi possível obter o faturamento por segmento homogêneo, o que proporcionou o cálculo do valor unitário de produção por segmento, conforme apresentado no Anexo A. O segmento que apresenta maior valor unitário de produção é o segmento de “chocolate, cacau e balas”, seguido pelo segmento de “óleos e gorduras” e, depois, por “derivados do trigo”. O valor unitário referente à produção total do setor situa-se em torno de 400 reais (em valores constantes de 2005) por tonelada.

3.3 - Setor de cerâmica

O setor industrial cerâmico é um grande consumidor de matérias-primas minerais. Seus diferentes segmentos consomem uma diversidade de substâncias minerais *in natura* ou beneficiadas, cujas variedades empregadas dependem do tipo de produto e da localização da planta.

Este setor industrial é bastante diversificado e pode ser dividido nos seguintes segmentos:

- Revestimentos cerâmicos;
- Cerâmica vermelha ou estrutural;
- Materiais refratários;
- Louça sanitária e de mesa;
- Isoladores elétricos e térmicos;
- Cerâmica artística; e
- Filtros cerâmicos de água para uso doméstico.

O Brasil dispõe de importantes jazidas de minerais industriais de uso cerâmico, cuja produção está concentrada principalmente nas regiões Sudeste e Sul, onde estão localizados os maiores pólos cerâmicos do País. Entre as diversas substâncias minerais consumidas, destacam-se as argilas de queima vermelha ou argilas comuns, que são utilizadas na cerâmica vermelha, ou estrutural, e nos revestimentos cerâmicos. A instalação de unidades industriais cerâmicas é feita nas proximidades das jazidas de argila, que constituem matérias-primas de baixo valor unitário, o que não viabiliza o seu transporte a grandes distâncias.

O segmento de revestimentos cerâmicos e o de cerâmica vermelha são os mais importantes do setor industrial cerâmico. No segmento de revestimento cerâmico, em particular, é onde ocorre uma maior agregação tecnológica, notadamente através da rota tecnológica da via úmida, tornando-a competitiva no mundo.

Os produtos de cerâmica vermelha são fabricados a partir de matérias-primas compostas de 25 a 70% de argilas e teor variável de 3,5 a 8,0%, de óxido de ferro, elemento que lhe confere a coloração avermelhada após a queima, originando, daí, o nome de cerâmica vermelha. É

também conhecida como cerâmica estrutural, porque seus produtos compõem a estrutura de edificações (Bajay *et alii*, 2008). O processo produtivo de uma planta de cerâmica vermelha pode ser dividido em quatro etapas: a preparação de massa, a conformação, a secagem, e a queima.

A indústria de revestimentos cerâmicos abrange a produção de pisos e azulejos, e é capital intensiva. Os compostos minerais normalmente utilizados como matérias-primas na produção de revestimentos cerâmicos são quartzo, feldspato e calcário. Para a produção dos esmaltes, utilizados para o acabamento do revestimento utilizam-se também outros compostos minerais, que constituem seus três componentes básicos: elementos fundentes como o chumbo, magnésio, cálcio e sódio, elementos opacificadores e refratários, que determinam as propriedades finais do revestimento, e os elementos vítreos, que formam o corpo do esmalte, casos do quartzo e feldspato. O processo produtivo dos revestimentos cerâmicos tem como linha mestra a preparação de massa cerâmica, a moldagem das placas, a prensagem, e o tratamento térmico que consiste na secagem, esmaltação e queima. A queima pode ser realizada em fornos contínuos ou intermitentes, em temperaturas que variam de 800° C a 1700° C.

De acordo com a Anfacer - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, em 2007, 65% da produção brasileira de revestimentos cerâmicos utilizava o processo de produção por via úmida. O processamento dos produtos por via úmida se diferencia da via seca somente na etapa de moagem, onde, na via seca, não se utiliza água.

A louça sanitária brasileira é de boa qualidade, sendo exportada principalmente para América do Sul e Central e para os Estados Unidos. No segmento de materiais refratários a indústria brasileira é praticamente auto-suficiente, exportando apenas pequena parte de sua produção. Os demais segmentos apresentam-se com menor importância econômica no contexto do setor industrial cerâmico, mesmo empregando tecnologia de ponta como é o caso dos segmentos de isolantes térmicos e elétricos, e na produção de determinados materiais refratários.

3.3.1 - Análise de indicadores

O setor cerâmico apresenta uma participação no PIB decrescente no período analisado. Em 1996, a participação do setor cerâmico no PIB foi de 0,166%. Em 2005, este valor caiu para 0,128%.

O valor adicionado do setor oscilou no período analisado. De 1995 a 2001, o valor agregado do setor de cerâmica apresentou uma tendência de redução. A partir de 2001, o setor retoma o crescimento. Em 2004, observou-se uma forte alta que causou distorções nos indicadores de intensidade energética e de participação no PIB.

O setor cerâmico investiu 1,88% de seu valor adicionado, em 2005. O máximo investido pelo setor no período analisado foi 3,24%, em 2003.

A lenha é o principal energético do setor, respondendo por 50% da sua matriz energética em 2005. Em seguida vêm o gás natural, a eletricidade e o óleo combustível, que responderam, respectivamente, por 25%, 7,9% e 7,8 % da matriz energética do setor, em 2005. Entre 1999 e 2003, é possível notar forte inserção do gás natural na matriz energética do setor, substituindo, sobretudo, o óleo combustível e o GLP (Figuras 3.7 e 3.8). A eletricidade manteve sua parcela de mercado aproximadamente constante - em torno de 7,5% - durante o período analisado.

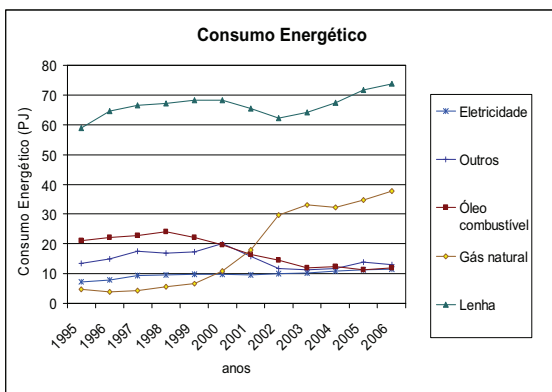


Figura 3.7: Consumo energético do setor cerâmico, em PJ, de 1995 a 2006

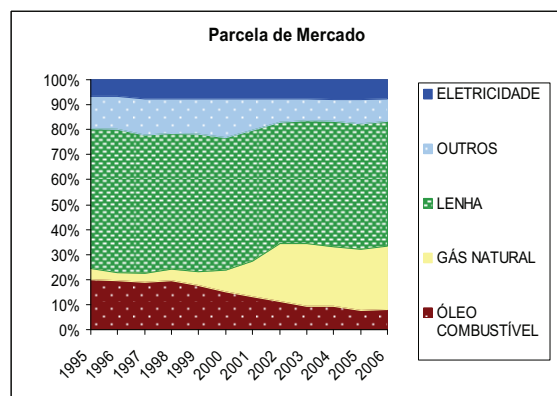


Figura 3.8: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de cerâmica, de 1996 a 2005

A dependência da lenha é preocupante na indústria cerâmica. As plantas de cerâmica, em geral, compram a lenha de terceiros, o que a torna escassa no entorno das plantas, principalmente nas plantas de cerâmica vermelha. Além disso, tem-se a concorrência com outros setores industriais, também consumidores de lenha em seus processos, como matéria-prima ou energético.

No segmento de cerâmica vermelha, a substituição da lenha esbarra em algumas dificuldades, como a necessidade de investimentos para a mudança dos fornos; por outro lado, tem-se a necessidade de equacionamento da questão ambiental. De uma forma geral, parece ser inviável para a maioria das plantas a substituição da lenha por gás natural, mesmo onde já existem gasodutos. A necessidade de grande aporte tecnológico nas plantas e o alto custo do energético implicaria enormes investimentos para alterar a matriz energética.

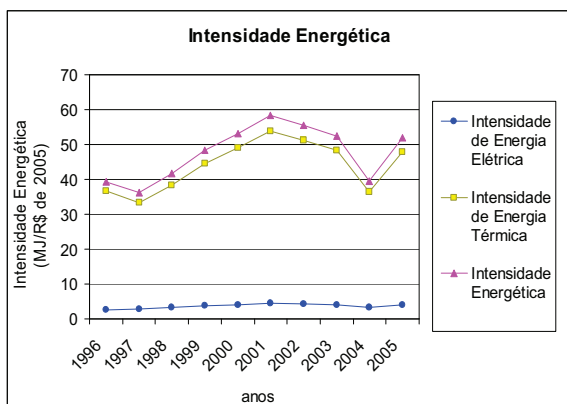


Figura 3.9: Intensidade energética do setor de cerâmica, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1996 a 2005.

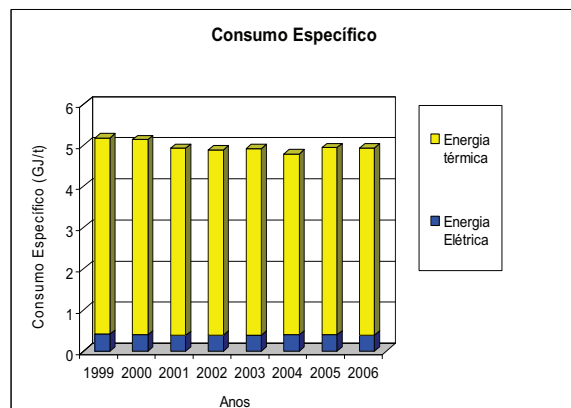


Figura 3.10: Consumos energéticos específicos do setor de cerâmica, em GJ/t, de 1999 a 2005

A intensidade energética da indústria cerâmica apresenta tendência de crescimento, devido principalmente à redução do valor agregado, entre os anos de 1995 e 2001. Nota-se, na Figura 3.9, que o consumo de energia térmica é muito maior que o consumo de energia elétrica. A intensidade de energia elétrica se mostra estável no período analisado, enquanto que a

intensidade de energia térmica sofre grandes oscilações e apresenta tendência de crescimento. Em 2004, observa-se uma queda na intensidade energética, devido ao grande crescimento do valor adicionado do setor.

Conforme se pode observar na Figura 3.10, o consumo específico de energia elétrica apresenta-se estável no período analisado, tal qual a intensidade elétrica. Já o consumo específico de energia térmica, apesar das oscilações, apresenta tendência de redução, diferente da intensidade de energia térmica.

3.4 - Setor de cimento

A indústria de cimento é um importante setor da economia de um país, tendo freqüentemente seu desempenho associado à “saúde econômica” de uma nação.

No Brasil, no início do século XX, a demanda interna por cimento era suprida totalmente por produto importado. Com a crise de abastecimento decorrente da Primeira Guerra Mundial, os primórdios da industrialização nacional foram fortalecidos, despertando o estímulo do governo para a instalação das indústrias de base por meio de incentivos como a isenção de impostos. A partir de 1956, a demanda interna de cimento passou a ser atendida totalmente pela produção nacional. O final da década de 1960 e início de 1970 marcaram um período próspero para a indústria de construção civil, que cresceu a uma taxa de 15% a.a. A década de 1980 registrou uma retração na demanda de cimento, atingindo -7,96% em 1980-84, aumentando a ociosidade do setor. No período de 1985 a 88, ocorreu a substituição no processo de produção de cimento de via úmida por via seca, permitindo o aumento da produção física de cimento a ritmos mais acelerados, conforme Soares (1998).

Pode-se dividir a produção de cimento em basicamente três etapas: a preparação da matéria-prima, que constitui na britagem da matéria-prima com o propósito de reduzir a argila e o calcário a diâmetros adequados à moagem; a clínquerização, onde a mistura dos ingredientes e a sua exposição ao intenso calor nos fornos rotativos desencadeiam reações químicas que convertem os materiais em uma pasta chamada clínquer e, por fim, a moagem, que ocorre logo

após adições de materiais, onde a mistura é moída obtendo-se um pó fino denominado cimento portland. Existem cinco tipos de cimento portland, que diferem quanto a sua composição, conforme pode ser visto na Tabela 3.1.

A maior parte da produção nacional é concentrada na fabricação do cimento portland comum e composto (CPI e CPII), aplicado em construções usuais de concreto, seguido do cimento portland de alto forno (CPIII), utilizado nas obras civis de grande porte como portos, barragens e pontes. Produz-se, ainda, em menor escala, o cimento portland pozolânico (CPIV), com alto percentual de material pozolânico.

Tabela 3.1: Classificação do cimento por adição de matéria prima

Tipo		Clínquer (%)	Escórias de alto-forno (%)	Material pozolânico (%)	Material carbonático (%)
CPI	CP I	100	0		
	CP I-S	95 a 99	1 a 5		
CP II	CP II-E	56 a 94	6 a 34	-	0 a 10
	CP II-Z	76 a 94	-	6 a 14	0 a 10
	CP II-F	90 a 94	-	-	6 a 10
CP III	CP III	25 a 65	35 a 70	-	0 a 5
CP IV	CP IV	45 a 85	-	15 a 50	0 a 5
CP V	CP V	95 a 100	-	-	0 a 5

Fonte: SNIC, 2007.

Na primeira etapa de produção do cimento – preparação da matéria-prima – há uma forte demanda por energia elétrica na britagem das matérias-primas. Cerca de 30% da eletricidade consumida pelo setor é usada nessa etapa, utilizada principalmente como força motriz.

A etapa de clínquerização comporta a maior parte da demanda por uso de combustíveis do setor, aproximadamente 95% do total, e 29% da eletricidade total utilizada na planta. A etapa de moagem, geralmente, não requer energia térmica. Ela utiliza cerca de 40% da eletricidade total da planta.

Dois processos são empregados na produção do clínquer: o via-úmida e o via-seca. No primeiro deles, a matéria-prima é preparada e homogeneizada com água antes de ser aquecida no forno rotativo e, portanto, necessita de mais energia térmica no forno para realizar a clínquerização do material. No segundo processo, a matéria-prima é introduzida com um baixo teor de umidade no forno.

Atualmente, no Brasil, mais de 98% da produção de cimento emprega o processo de via-seca, por ser menos intensivo em energia térmica. A escolha deste processo pode ser considerada uma medida de conservação de energia adotada pela indústria de cimento, sobretudo para reduzir os gastos com combustível, que representam cerca de 18% a 20% do custo total de fabricação.

No Brasil, a escala de produção eficiente de cimento está bem abaixo dos padrões internacionais. A média da produção nacional por planta é de até 3.000 t/dia, contra uma capacidade de produção internacional de 10.000 t/dia, o que propicia uma produtividade inferior para o País, resultando em uma capacidade ociosa de 45% (DNPM, 2006). A competitividade está aquém dos padrões internacionais, que têm preços, em média, 37% menores que os praticados no Brasil e qualidade superior.

3.4.1 - Análise de indicadores

A indústria de cimento tem tido uma participação crescente no PIB nacional, no período analisado, atingindo, em 2003, sua participação mais significativa, de 0,25%.

O valor adicionado do setor apresentou-se crescente no período analisado; contudo, no ano de 2005, observa-se uma forte queda nesta variável, gerando distorções nos indicadores de participação no PIB, na intensidade energética e no valor unitário de produção.

O valor unitário de produção do cimento apresentou-se crescente no período analisado, indicando que o valor adicionado do setor cresceu em um ritmo mais acelerado do que a produção. A queda neste indicador, no ano de 2005, é devido à forte queda do valor adicionado do setor neste mesmo ano, combinado com o comportamento da produção, que continuava a

crescer. A produção do setor de cimento apresentou uma tendência de crescimento entre 1996 e 2002. Após este período, a produção do setor caiu e estabilizou-se em patamares inferiores.

O consumo energético total do setor de cimento apresentou uma forte redução entre os anos de 2001 e 2004. Na matriz energética do setor de cimento, o coque de petróleo é o energético de maior importância, representando, em 2006, 65,8% do consumo total, conforme apresentado nas Figuras 3.11 e 3.12. A partir dos 1998, o consumo de coque de petróleo apresentou um forte crescimento, substituindo o óleo combustível e o carvão mineral no processo produtivo. O consumo de coque de petróleo apresentou um crescimento de 49% ao ano, enquanto que os consumos de óleo combustível e de carvão mineral apresentaram reduções anuais de 30% e 15 %, respectivamente, entre 1995 e 2006.

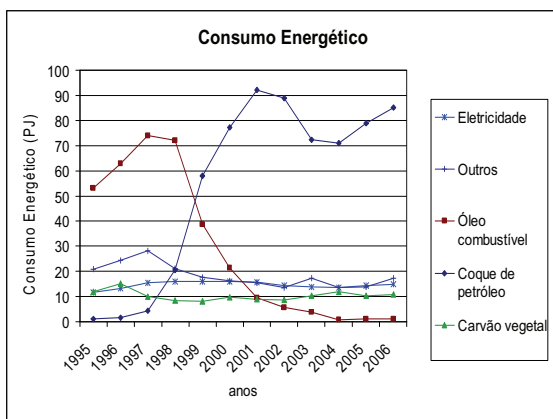


Figura 3.11: Consumo energético do setor cimento, em PJ, de 1995 a 2006

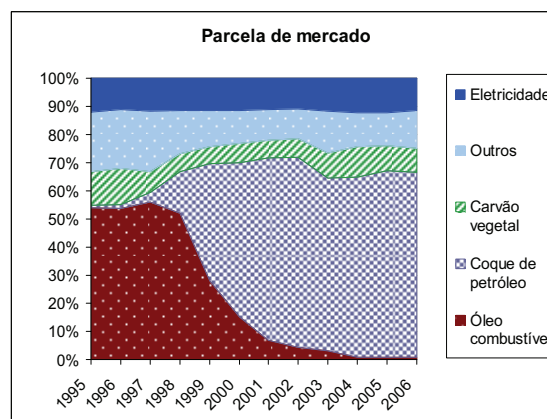


Figura 3.12: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de cimento, de 1995 a 2006

A eletricidade, o segundo energético em importância para o setor, manteve uma participação na matriz energética estável em todo o período, atingindo 11,5% em 2006. O carvão vegetal também possui uma participação significativa na matriz energética do setor, representando 11,4% do consumo total em 2006. Os consumos de gás natural e de carvão mineral foram reduzidos no final do período analisado. Ressalte-se, também, o crescimento da

participação de “outras fontes não especificadas”, compostas pelos seguintes energéticos: lenha, óleo diesel, bagaço de cana, casca de arroz, casca de coco, resíduos de madeira, moinha de carvão vegetal, alcatrões, moinha de coque, rejeitos carbonosos, turfa, pneus e outros. O setor de cimento também tem usado os seus fornos com a finalidade de incineração de resíduos.

A intensidade energética do setor apresenta uma tendência de forte redução, que se deve à queda na intensidade de energia térmica (Figura 3.13). Esta queda é devido a uma combinação de alta do valor adicionado com fraco crescimento, e em alguns momentos queda, do consumo energético. A intensidade elétrica manteve-se praticamente constante no período analisado.

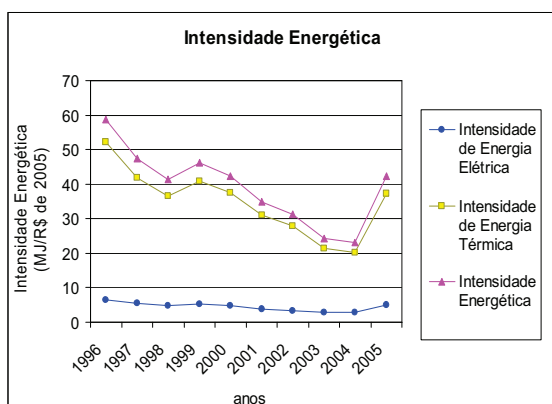


Figura 3.13: Intensidade energética do setor de cimento, em MJ/(R\$ constantes de 2005) de 1996 a 2005

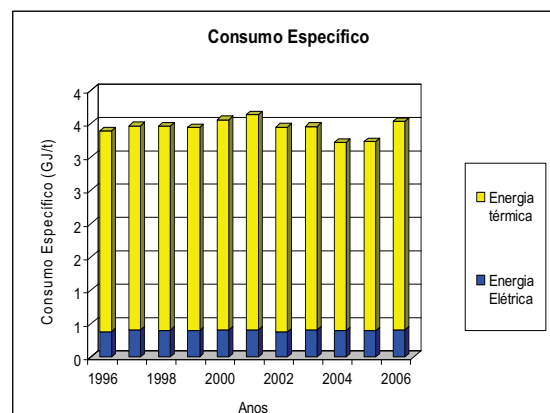


Figura 3.14: Consumos energéticos específicos do setor de cimento, em GJ/t de 1996 a 2005

O consumo específico de energia elétrica manteve-se aproximadamente constante no período analisado, com uma média de 0,395 GJ/ton. O consumo específico de energia térmica sofreu oscilações neste período, chegando ao final deste com 2,838 GJ/t, conforme apresentado na Figura 3.14.

3.5 - Setor da indústria extrativa mineral

A indústria extrativa mineral compreende toda a indústria extrativa de minerais metálicos e não metálicos, com exceção dos energéticos (carvão, petróleo e xisto piro-betuminoso). Abrange, ainda, as atividades de beneficiamento associadas, ou em continuação à extração, como a moagem, trituração, classificação, concentração, pelletização, sinterização, etc., incluindo a fragmentação de pedras para utilização como matéria-prima para a produção de cal e cimento, ou como material para construção, e o britamento de pedra associado à extração (Mineropar, 2006).

A produção da indústria extrativa mineral é utilizada como matéria-prima na indústria de transformação, na construção civil e na agricultura como insumo ou corretivo de solo. A demanda por bens minerais é derivada da atividade econômica desses setores e, portanto, é fortemente influenciada pelo comportamento geral da economia

Os principais produtos da indústria extrativa mineral entre os minerais metálicos são o minério de ferro, o titânio, e a bauxita. Em 2005 esses minerais representaram 65%, 6,3% e 5,4% da produção do setor, respectivamente. Entre os minerais não-metálicos, destacam-se a areia e o calcário, que representaram 50% e 14%, respectivamente, da produção de não metálicos naquele ano, excluindo a água mineral.

As etapas produtivas deste segmento industrial no Brasil seguem, na sua maioria, o método de mineração por desmonte das minas de superfície. No entanto, cada jazida requer uma tecnologia específica, decorrente de suas características geológicas próprias. As principais etapas da produção mineral são a extração e o beneficiamento. Na etapa de extração os principais estágios são: limpeza da vegetação, decapeamento, perfuração e jateamento, extração, carregamento, transporte e reabilitação das áreas escavadas.

Historicamente, a indústria extrativa mineral no Brasil tem apresentado um relevante papel no desenvolvimento econômico e social e no empenho para se reduzir as desigualdades regionais. O desempenho da produção mineral brasileira é reflexo natural das características da sua

geodiversidade, dimensão territorial e dos atributos naturais de inúmeras e significativas possibilidades de aproveitamento para seus recursos minerais (DNPM, 2006).

O País possui um grande potencial mineral subaproveitado, em virtude da redução dos investimentos do Estado no conhecimento geológico básico desde o final dos anos 1970 e das dificuldades de financiamento para obtenção desse conhecimento prévio (MME, DNPM, 2002).

Os problemas ambientais que envolvem as atividades de mineração no Brasil podem ser divididos em quatro categorias: a poluição da água, a poluição do ar, a poluição sonora e a subsidência do terreno (PNUD, 2002). Os efeitos indesejados destes problemas incluem alterações do ambiente, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano (Bajay et alii, 2008).

A capacidade de autoprodução do setor de extrativa mineral é relevante, com uma potência instalada total de 143,9 MW, sendo 65,3 MW de hidrelétricas e 78,6 MW de termelétricas. Os maiores empreendimentos situam-se no Estado do Pará, contribuindo com 91,3 MW.

3.5.1 - Análise de indicadores

A participação da indústria extrativa mineral no PIB apresentou-se crescente em todo o período, atingindo 0,7%, em 2005. Apesar da pequena participação, o valor adicionado do setor de extrativa mineral apresentou uma suave tendência de crescimento no período analisado. No ano de 2004, no entanto, houve um salto no valor agregado do setor, que, posteriormente, se manteve em patamares elevados. Este fato se refletiu na intensidade energética.

Na década de 1970, o principal energético consumido na indústria extrativa mineral no Brasil era o óleo combustível. Com o choque do preço do petróleo em 1979 houve uma redução do consumo de óleo combustível; no entanto, o consumo de energia elétrica continuou a crescer. A partir de meados da década de 1980 o óleo combustível foi sendo parcialmente substituído, sobretudo por carvão mineral e coque de carvão mineral, e, posteriormente, por coque de petróleo e gás natural. O consumo de óleo diesel cresceu continuamente ao longo de todo o

período aqui analisado, dada a sua importância no transporte local dos minerais extraídos, antes e após o seu beneficiamento. Na década de 1990, o gás natural aumentou a sua participação na matriz energética do setor, conforme ilustrado nas Figuras 3.15 e 3.16.

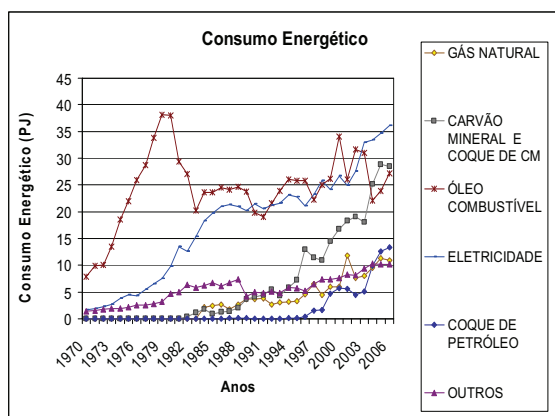


Figura 3.15: Consumo energético do setor da indústria extrativa mineral, em PJ, de 1970 a 2006

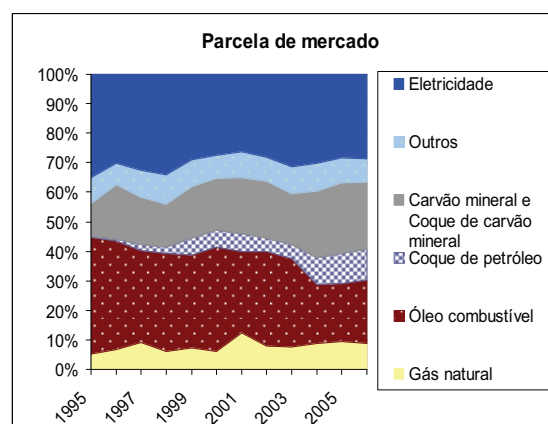


Figura 3.16: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor da indústria extrativa mineral, de 1995 a 2006

O coque de petróleo apresentou uma forte penetração na matriz energética do setor, e seu consumo teve um crescimento de 54% ao ano. O consumo de gás natural apresentou um crescimento de 11% ao ano.

Em 2006, os energéticos mais importantes para o setor de extrativa mineral foram a eletricidade, responsável por 29% do seu consumo energético total, o carvão mineral e o coque de carvão mineral, responsável por 22,6%, e o óleo combustível, respondendo por 21,6% do consumo energético do setor.

A intensidade elétrica e a intensidade de energia térmica oscilaram ao longo do período analisado, mas, ao final do período, ambas retornaram aos patamares iniciais.

Os consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica apresentaram crescimento em todo o período analisado. O consumo específico total apresentou um acentuado crescimento, principalmente de 1996 a 2002.

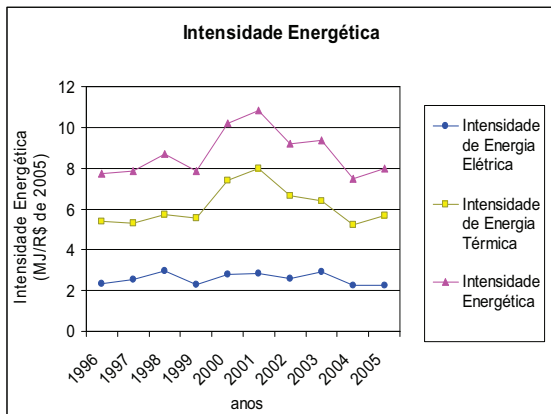


Figura 3.17: Intensidade energética do setor de extrativa mineral, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1996 a 2005

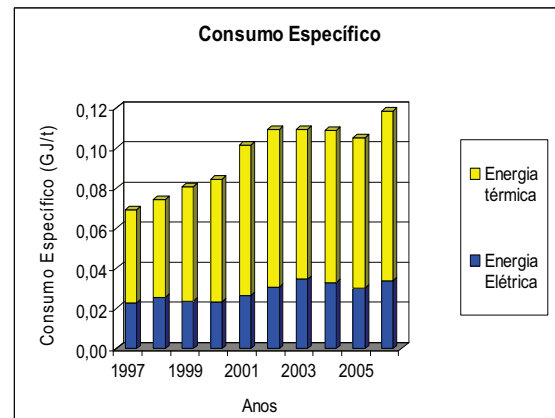


Figura 3.18: Consumos energéticos específicos do setor de extrativa mineral, em GJ/t, de 1997 a 2006

O valor unitário de produção apresentou-se crescente no período analisado. Neste caso, o valor adicionado cresceu no período analisado, enquanto a produção do setor apresentou oscilações.

3.6 - Setor de Ferro Ligas

As ferro ligas são ligas de ferro com outros elementos químicos, como manganês, silício, cromo, níquel, nióbio, entre outros. As adições de tais elementos são efetuadas em proporções adequadas para aproveitamento industrial, ou para a introdução de novos elementos na própria liga. As ligas possuem propriedades diferentes dos elementos que as originam, podendo possuir determinadas propriedades melhoradas, como aumento do ponto de fusão, aumento da dureza e aumento da resistência mecânica. As ferro ligas convencionais são: ferro-manganês, ferro-silício, ferro-silício-manganês e ferro-cromo, presentes na quase totalidade dos processos de

produção de ferro e aço comum ou especial. As ligas não convencionais, como ferro-níquel, ferro-molibdênio e ferro-titânio, entre outras, servem como vetores para adição de elementos de liga na produção de aços especiais.

O segmento de ferro ligas exerce um função de destaque no País, em especial como fonte supridora de insumos para a indústria siderúrgica, responsável por cerca de 90% da demanda interna.

As ferro ligas podem ser produzidas através dos processos de fusão, compressão, eletrolíticos, ou de metalurgia associada.

Nas ferro ligas confeccionadas por fusão, fundem-se quantidades adequadas dos componentes da liga, a fim de que estes se misturem perfeitamente no estado líquido. A massa fundida, homogênea, é resfriada lentamente em formas apropriadas. São tomadas precauções especiais para evitar a separação dos componentes da liga durante o resfriamento, para evitar a oxidação dos metais fundidos e para minimizar as perdas dos componentes voláteis.

No processo de compressão, misturas em proporções adequadas são submetidas a elevadas pressões. Esse processo é de importância na preparação de ligas de alto ponto de fusão e àquelas cujos componentes são imiscíveis no estado líquido.

O processo eletrolítico fundamenta-se na eletrólise de uma mistura apropriada de sais, com o fim de se efetuar deposição simultânea de dois ou mais metais sobre cátodos. O processo de metalurgia associada consiste na obtenção de uma liga constituída de dois ou mais metais, submetendo-se ao mesmo processo metalúrgico uma mistura de seus minérios.

A maior parcela da produção nacional de ferro ligas é devido às ligas à base de manganês, que, em 2006, representaram 58,2% da produção total do setor. A produção de ligas com aplicações na fabricação de aço inoxidável, ou seja, ligas à base de cromo e níquel, vem em seguida, com 19,7% do total da produção física desta indústria em 2006.

3.6.1 -Análise de indicadores

Os dados de valor agregado do setor de ferro ligas não são disponibilizados pelo IBGE na Tabela de Recursos e Usos (TRU) e nem na Pesquisa Industrial Anual (PIA). Na verdade, os dados econômicos deste setor, são apresentados pelo IBGE de forma agregada com a produção de ferru-gusa, que é abordada no setor siderúrgico. Portanto, não pôde-se calcular os indicadores que envolvem esta variável, como a participação no PIB, e a intensidade energética.

Nota-se um aumento do consumo energético total do setor de ferro ligas, e uma maior diversificação de sua matriz energética, dada a maior participação de energéticos como coque de carvão mineral e “outros” energéticos utilizados pelo setor, conforme ilustrado nas Figuras 3.19 e 3.20.

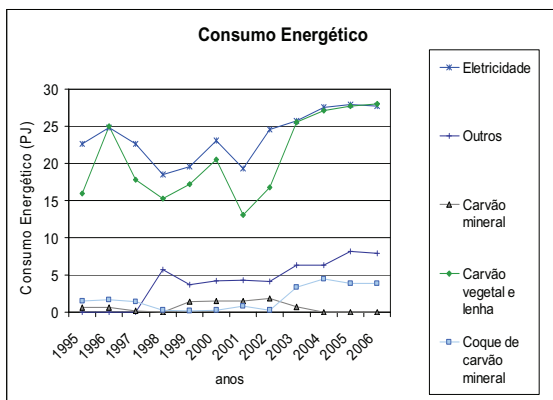


Figura 3.19: Consumo energético do setor de ferro ligas, em PJ, de 1995 a 2006.

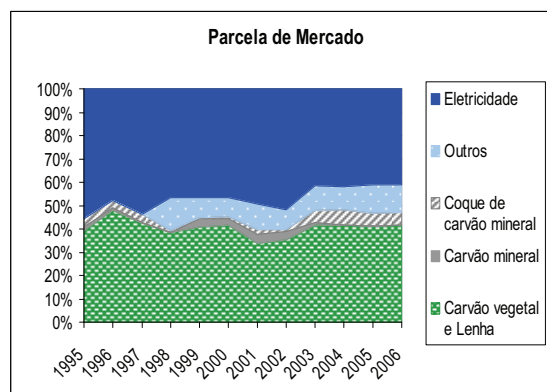


Figura 3.20: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de ferro ligas, de 1995 a 2006

Os energéticos de maior importância para o setor de ferro ligas têm sido a eletricidade, o carvão vegetal e a lenha. Os consumos destes energéticos têm apresentado tendência de crescimento no período analisado, apesar de algumas oscilações. No ano de 2001, o consumo de eletricidade apresentou acentuada queda, devido à crise elétrica enfrentada pelo Brasil. Neste mesmo ano, os consumos de carvão vegetal e lenha também apresentaram queda, que pode ser

devido à baixa produção neste ano. A parcela de mercado da eletricidade apresenta caiu no período, de 55% em 1995 para 41% em 2006. Já a parcela de mercado associada ao carvão vegetal e à lenha oscilou em torno de 40%.

O mix de energéticos denominado “outros” penetrou na matriz energética do setor no ano de 1997, mesmo ano em que o consumo de carvão vegetal e lenha apresentou uma brusca queda. Esta situação sugere uma substituição entre estes energéticos. O consumo de gás natural pelo setor de ferro ligas é muito baixo, correspondendo a aproximadamente 0,1% da matriz energética setorial. O mix de energéticos denominado “outros” engloba o consumo energético de gás natural. Em 2006, os “outros” energéticos representam 11,73% dos energéticos consumidos pelo setor. O consumo de coque de carvão mineral apresentou crescimento a partir de 2003, atingindo, ao final de período, uma parcela de mercado de 6%.

O consumo energético específico total do setor mostrou-se decrescente após 2003, conforme indicado na Figura 3.21. A eficiência dos processos empregados pela indústria brasileira de ferro ligas encontra-se dentro da média observada no mundo e, na maioria das vezes, acima desta. Tal dinâmica é explicada pelo fato de se tratar de uma indústria relativamente recente, com uma elevada participação de exportações, sendo submetida, por conseguinte, a pressões competitivas que induzem à manutenção de elevados níveis de eficiência para garantir sua permanência no comércio internacional (Bajay et alii, 2008).

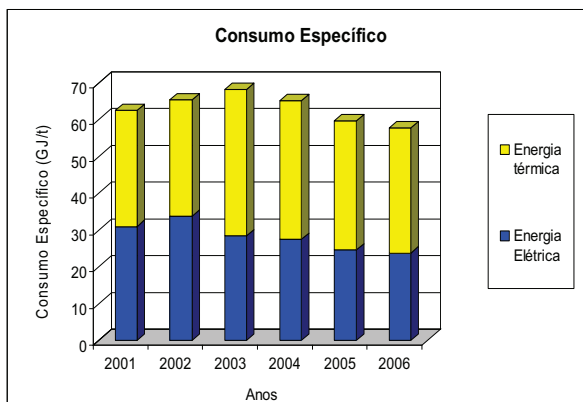


Figura 3.21: Consumos energéticos específicos do setor de ferro ligas, em GJ/t, de 2001 a 2006

3.7 - Setor de Fundições

O setor de fundições se caracteriza pela produção de bens intermediários. Ele fornece seus produtos para diversos segmentos industriais, como o automobilístico, de construção ferroviária e naval, de bens de capital e para indústrias de base, como a siderúrgica.

A indústria de fundições utiliza o processo de fusão de ferro, aço ou metais não-ferrosos, como cobre, zinco, alumínio e magnésio, visando obter certas propriedades para o produto final. Na forma líquida, os metais e suas ligas são vazados no interior de moldes confeccionados com areias especiais aglomeradas com resinas próprias para esse fim, com formatos que reproduzem o objeto pretendido.

As matérias-primas utilizadas pelo setor de fundições são basicamente de origem nacional, garantindo, assim, total independência do mercado externo. Dentre as matérias primas, destacam-se o ferro-gusa, o alumínio e as ferro ligas.

A indústria brasileira de fundições é composta, basicamente, de empresas de pequeno e médio porte. Em 2005, o País ocupou a sétima posição no *ranking* mundial dos produtores de fundidos, com uma produção física de 2,97 Mt. Na produção brasileira, predominam os fundidos de ferro, que atendem ao principal demandante da indústria de fundição no País, o setor automotivo, responsável por 53% do mercado. O mercado interno consome 75% da produção física do setor de fundições; os 25% restantes são exportados principalmente para as indústrias automobilísticas dos EUA e da Alemanha.

O segmento industrial das fundições não é representado individualmente no Balanço Energético Nacional. A Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM) do Ministério de Minas e Energia (MME), no entanto, compila estatísticas de produção e de consumo de matérias-primas, como ferro-gusa, alumínio e sucata, e de consumo dos principais insumos energéticos, dentre outros. Os dados energéticos do setor de fundição foram obtidos a partir desta publicação da SGM/MME.

3.7.1 - Análise de indicadores

O setor de fundição apresentou uma crescente participação no PIB no período analisado, variando de 0,04% em 1996 a 0,08% em 2005. O valor adicionado do setor apresentou-se crescente em todo o período.

O valor unitário de produção apresentou oscilações no período analisado, mantendo uma média de 500 reais de 2005 / t.

A matriz energética do setor de fundições não apresentou variações significativas no período analisado. A eletricidade é o principal energético utilizado, representando 50,7% do consumo total do setor em 2005. O coque de carvão mineral é o segundo energético em importância para o setor, correspondendo, em 2005, a 27% do consumo total. O óleo combustível e o óleo diesel complementam a matriz energética setorial, tendo representado 19,5% e 2,8%, respectivamente, do consumo total em 2005 (vide Figuras 3.22 e 3.23).

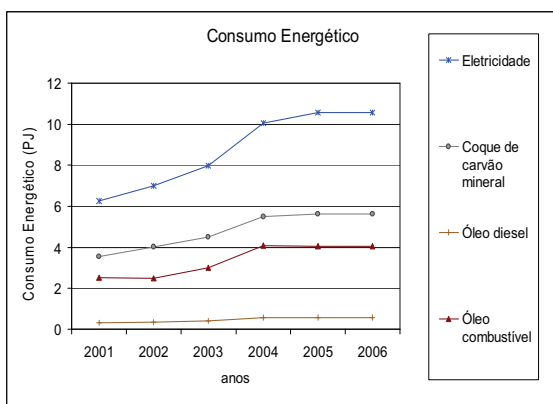


Figura 3.22: Consumo energético do setor de fundições, em PJ, de 2001 a 2005

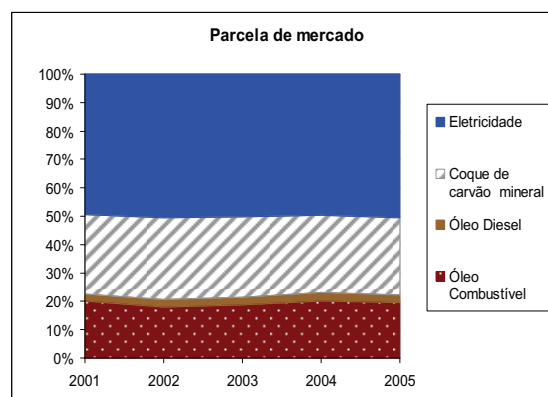


Figura 3.23: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de fundições, de 2001 a 2006

A intensidade energética oscilou no período analisado. A intensidade de energia elétrica e a intensidade de energia térmica apresentaram comportamentos e valores semelhantes em todo o período.

O consumo específico de energia elétrica se mostrou constante em todo o período, o que provavelmente indica que este valor foi usado para calcular o consumo de eletricidade do setor. O consumo específico de energia térmica e, por consequência, o de energia total, diminuiram um pouco no intervalo de tempo analisado, revelando ligeiros ganhos na eficiência do uso de combustíveis.

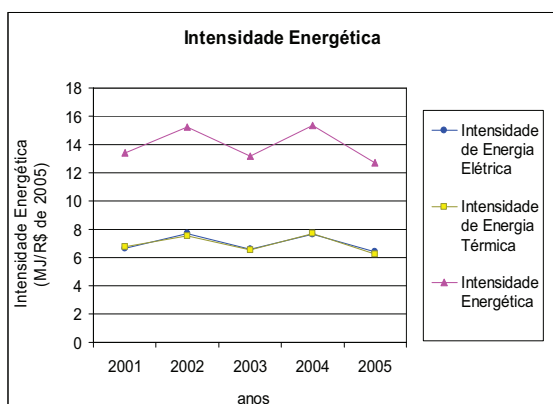


Figura 3.24: Intensidade energética do setor de fundições, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 2001 a 2005

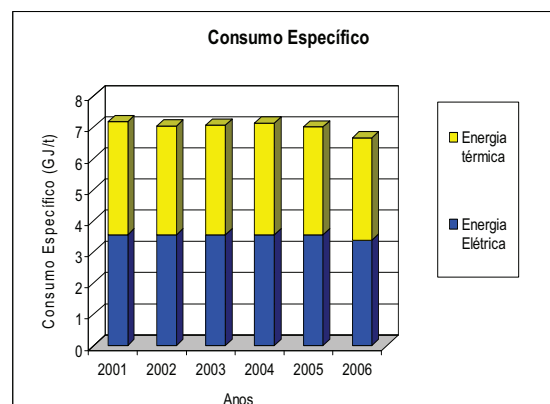


Figura 3.25: Consumos energéticos específicos do setor de fundições, em GJ/t, de 2001 a 2006

3.8 - Setor de Metais não Ferrosos

O setor industrial de metais não ferrosos inclui a produção de alumínio, chumbo, cobre, estanho, magnésio, níquel, silício e zinco. Estes segmentos são descritos mais adiante nesta dissertação. Os segmentos com maior peso na produção física do setor, em 2006, foram o do alumínio, com 69,7% da produção; zinco, com 11,8%; cobre, com 8,4%; e silício com 8,1%. (MME, 2007)

3.8.1 - Análise de Indicadores

O setor de metais não ferrosos apresentou uma participação crescente no PIB nacional até 2003, quando atingiu 0,33%, decrescendo a seguir.

A taxa de investimento deste setor tem sido bem elevada, atingindo, em média, 40% do valor agregado setorial.

O consumo energético do setor manteve-se em crescimento no período analisado, exceto em 2001. Neste ano, devido à crise elétrica que o Brasil enfrentava, houve uma considerável queda no consumo de eletricidade do setor, que se refletiu no consumo energético total. O setor de metais não ferrosos é fortemente dependente da eletricidade, conforme ilustrado nas Figuras 3.26 e 3.27; contudo, percebe-se uma tentativa de diversificação de sua matriz energética no horizonte de estudo.

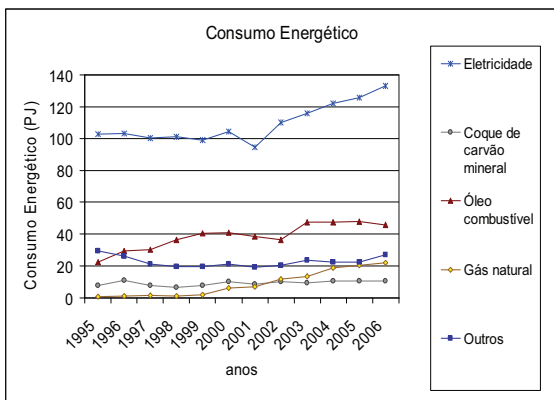


Figura 3.26: Consumo energético do setor de metais não ferrosos, em PJ, de 1995 a 2006

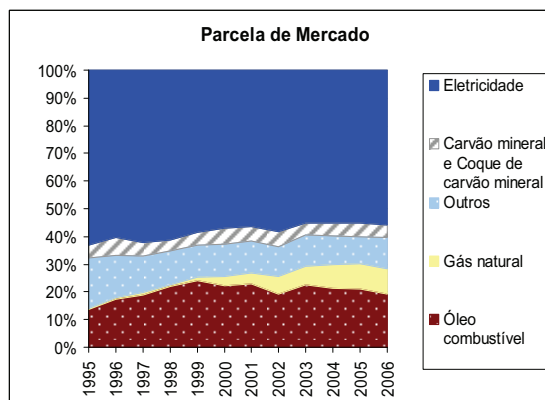


Figura 3.27: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de metais não ferrosos, de 1995 a 2006

A eletricidade é o energético de maior importância do setor de metais não-ferrosos. Em 1995, este insumo teve sua maior participação na matriz energética setorial, no período aqui

analisado, representando 63% de todo o consumo energético. Nos anos seguintes, houve uma redução na parcela de mercado da eletricidade.

O óleo combustível é o segundo energético de maior importância para o setor de metais não ferrosos. O consumo a ele associado apresenta crescimento entre 1995 e 2006. No entanto, a partir de 1999, sua participação relativa na matriz energética setorial começa a cair, perdendo mercado, principalmente para o gás natural.

O consumo de gás natural pelo setor de metais não ferrosos é discreto no início de período analisado. No entanto, a partir do ano 2000, nota-se um crescimento acentuado do consumo deste energético, alcançando uma média de crescimento de 19,9% ao ano.

O mix de energéticos denominado “outros” é composto pelos seguintes combustíveis: carvão vegetal, gás canalizado, GLP, óleo diesel, lenha e “outras fontes secundárias de petróleo”. O seu consumo de energia manteve-se razoavelmente estável no período analisado, assim como sua parcela de mercado, que teve uma média de 9,5%. O carvão mineral e o coque de carvão mineral também tiveram uma participação estável em todo o período, mantendo, em média, uma parcela de mercado de 5%.

A intensidade energética do setor de metais não ferrosos se reduz no horizonte de estudo, conforme indicado na Figura 3.28. Este decréscimo se explica pelo considerável aumento do valor agregado do setor, em maior proporção que o aumento do consumo energético total setorial. A intensidade de energia térmica e a intensidade de energia elétrica comportam-se de modo similar à intensidade energética total.

O consumo específico total do setor, ao contrário da intensidade energética, apresentou crescimento no período analisado. Tanto o consumo específico de eletricidade, quanto o consumo específico de energia térmica apresentaram forte crescimento no período. O consumo energético específico do setor de metais não ferrosos calculado neste trabalho é de 95 GJ/t, encontrando-se muito acima do consumo específico do setor de “metais não ferrosos e outros da metalurgia”, divulgados pelo PNE2030, que é de 46 GJ/t. Isto se deve a dois fatores: (i) o PNE2030 aborda

um universo mais amplo que o setor de metais não ferrosos abordados neste trabalho; (ii) a associação de classe deste setor não fornece uma série histórica de produção física consistente para todos os produtos do setor.

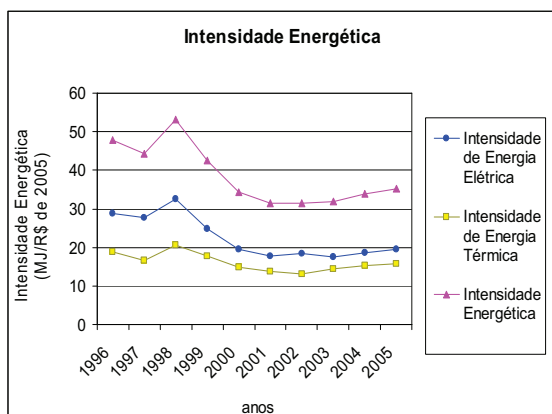


Figura 3.28: Intensidade energética do setor de metais não ferrosos, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1996 a 2005

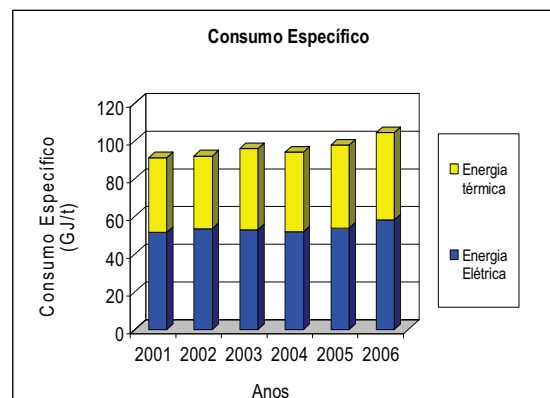


Figura 3.29: Consumos energéticos específicos do setor de metais não ferrosos, em GJ/t, de 1998 a 2006

Os consumos específicos por segmentos homogêneos do setor de metais não ferrosos são apresentados no Anexo desta dissertação. Os consumos energéticos específicos dos segmentos de cobre, níquel e estanho apresentaram redução no período analisado. Já os segmentos de alumínio primário e zinco primário mostraram-se crescentes no mesmo período.

3.8.2 - Alumínio

A partir da bauxita, obtém-se a alumina, o óxido que contém o alumínio. O metal alumínio, designado como alumínio primário, é obtido através de um processo de redução eletrolítica da alumina. O Brasil possui a terceira maior reserva de bauxita do mundo. Em 2005, ocupou a posição de 6º maior produtor mundial de alumínio, respondendo por 4,7% da produção do mundo, e o 4º maior produtor de alumina.

Na produção de alumínio primário, o consumo específico de todos os energéticos se manteve praticamente constante em todo o período analisado.

O elevado consumo específico de eletricidade e a importância deste aspecto no custo total do alumínio primário são fatores determinantes para que as plantas de alumínio localizem-se em países e regiões onde a eletricidade, obtida a partir de usinas hidroelétricas, é barata (Bajay, 1998). Na década de noventa, todos os produtores de alumínio do Brasil participaram, como sócios, em consórcios de geração, com o objetivo de garantir uma “fatia” de eletricidade de baixo custo a partir de novos empreendimentos de usinas hidroelétricas.

A reciclagem é extremamente importante na indústria de alumínio, pois ajuda o setor a reduzir os seus custos com insumos. Em 2005, 16,4% do alumínio produzido no Brasil vieram de material reciclado (MME, 2006). As latas de alumínio podem ser recicladas incontáveis vezes sem perda de quaisquer de suas características, gerando renda para catadores de lixo. A reciclagem de latas de alumínio no Brasil atinge um patamar único no mundo: 96% (MME, 2006; ABAL, 2007).

3.8.3 – Cobre

O cobre é um dos raros metais que ocorrem na natureza em estado puro. As elevadas condutividades elétrica e térmica do cobre tornam este metal muito adequado para a fabricação de cabos elétricos. As propriedades elétricas do cobre são melhores aproveitadas quando ele é empregado em estado puro, mas as propriedades mecânicas e a inalterabilidade são melhores nas ligas com chumbo, níquel, zinco e estanho.

A produção nacional de cobre não é suficiente para atender a demanda do Brasil, que o importa em grande escala. Os investimentos nesta indústria não têm sido muito expressivos.

O consumo específico total do cobre apresentou reduções no período analisado, conforme ilustrado por uma figura no Anexo. Houve, também, um acentuado processo de substituição de óleo combustível por gás natural.

3.8.4 - Zinco

Os principais usos do zinco metálico são a produção de ligas e a galvanização de estruturas de aço. O zinco também pode ser empregado como aditivo de certas borrachas e tintas, e ainda na fabricação de protetores solares. Compostos de zinco também são utilizados como insumos em outros setores industriais.

Os consumos específicos de óleo combustível para a produção de zinco referente aos anos de 2000 e 2001 encontram-se fora dos padrões usais. Referem-se, provavelmente, a erros cometidos durante a coleta ou processamento dos dados. O consumo específico de eletricidade apresentou um grande crescimento de 2001 para 2002.

3.8.5 - Silício Metálico

O silício metálico é usado na produção de ligas de alumínio a serem utilizadas nos processos produtivos das indústrias automobilística e aeronáutica. Na indústria química, o silício metálico é um importante insumo para a produção de diversos tipos de resinas de silicone e lubrificantes. É também utilizado na produção de silício de altíssima pureza para componentes eletrônicos usados em campos de tecnologia avançada como computação, comunicação espacial, sistemas de defesa, geradores fotovoltaicos, etc.

Não foram encontrados dados referentes aos principais insumos, inclusive os energéticos, requeridos pela indústria de silício metálico no Brasil.

3.8.6 - Níquel

Os produtos resultantes da indústria de níquel são utilizados na produção de aço de alta qualidade, um dos produtos da indústria metalúrgica de maior valor agregado.

A indústria de níquel é extremamente energointensiva, possuindo elevados consumos específicos de eletricidade e de óleo combustível. Os altos consumos específicos de eletricidade

de 2003 a 2005 podem ser explicados pela maior participação de Ni eletrolítico e Ni contido na liga Fe-Ni na produção total de níquel nos anos em questão.

3.8.7 - Estanho

O estanho é usado na construção de tubos e válvulas, na confecção de recipientes para água destilada, cerveja e bebidas carbonatadas. Pode, ainda, ser usado em tanques de armazenamento de soluções químicas farmacêuticas, fusíveis, munições, etc. O pó de estanho é usado na fabricação de tintas e *sprays*. A galvanoplastia é outra importante aplicação do estanho, podendo ser feita a eletrodeposição em torno de peças de aço, cobre, alumínio, etc. (Bajay et alii, 2008).

O consumo específico de eletricidade é dominante no consumo específico total de energia deste segmento. A queda observada no consumo específico de eletricidade, a partir do ano 2000, pode ser explicada por possíveis mudanças tecnológicas no setor.

3.8.8 - Chumbo

No Brasil, atualmente, há apenas produção secundária de chumbo, baseada na reciclagem de baterias de automóvel. Nenhuma informação foi obtida sobre o consumo de energia neste processo.

Como todo metal pesado, o chumbo degrada-se muito lentamente no meio ambiente, persistindo durante décadas no solo e no fundo de rios, lagos e represas. Não é metabolizado pelos animais e sofre o processo de bioacumulação, afetando mais os animais do topo da cadeia alimentar, entre os quais, encontra-se o homem. O chumbo é comprovadamente carcinogênico, causa malformações estruturais no feto, dentre outros danos.

3.8.9 - Magnésio

Os compostos de magnésio, principalmente seu óxido, são empregados como materiais refratários em fornos para a produção de ferro e aço, metais não ferrosos, cimento e cristais. O

uso principal deste metal é como elemento de liga com o alumínio. Não obteve-se informações a respeito dos insumos utilizados no processo.

3.9 - Outras Indústrias

A categoria “outras indústrias” é constituída pelos seguintes segmentos industriais, não energointensivos:

- Fabricação de outros produtos metalúrgicos
- Fabricação e manutenção de máquinas e tratores
- Fabricação de outros veículos, peças e acessórios
- Serrarias e fabricação de artigos de madeira e mobiliário
- Fabricação de aparelhos e equipamentos de material elétrico
- Fabricação de aparelhos e equipamentos de material eletrônico
- Indústria de transformação de material plástico
- Fabricação de calçados e de artigos de couros e peles
- Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus
- Indústrias diversas
- Indústria da borracha
- Metalurgia dos não-ferrosos
- Outras indústrias alimentares e de bebidas
- Forjaria, estamparia, metalurgia do pó e tratamentos de metais
- Beneficiamento de produtos de origem vegetal - inclusive fumo

3.9.1 - Análise de indicadores

O setor denominado “outras indústrias” possui uma significativa importância econômica no contexto nacional. A participação deste setor no PIB apresenta tendência de suave crescimento, atingindo, em 2006, o maior valor no período analisado: 6,18%.

A taxa de investimentos deste setor, obtida a partir dos desembolsos do BNDES, é elevada e, mesmo assim, apresenta crescimento no período analisado. Esta taxa foi de 11,7% do valor adicionado do setor em 2005.

Os dados sobre consumo de energia utilizados neste setor derivam dos dados disponibilizados no Balanço Energético Nacional para a categoria “outras indústrias”. Foi necessário subtrair os consumos energéticos de “outros minerais não metálicos” e de “vidros”, para evitar dupla contagem, já que, neste trabalho, tais setores são analisados separadamente.

A eletricidade é o principal energético utilizado pela categoria “outras indústrias”, representando, em 2006, 67% do consumo energético setorial. O consumo de eletricidade apresentou um crescimento de 31,6% em todo o período. A lenha é o segundo energético mais utilizado pelo setor, correspondendo a 12,14% do mercado do setor em 2006. O gás natural vem em seguida, respondendo, em 2006, por 9,34% do consumo total. Os consumos absoluto e relativo de óleo combustível se reduziram no período analisado. Observa-se um processo de substituição de energéticos, com o gás natural penetrando em mercados antes ocupados pelo óleo combustível (vide Figuras 3.30 e 3.31).

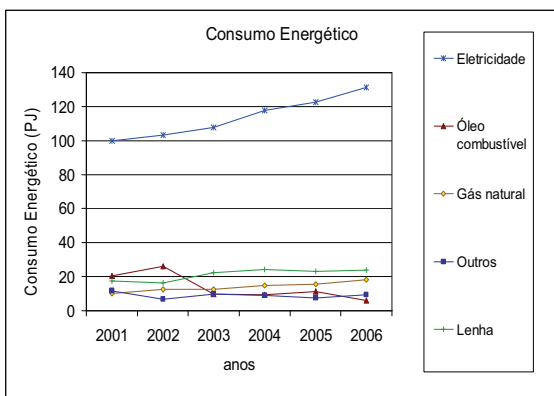


Figura 3.30: Consumo energético da categoria “outras indústrias”, em PJ, de 2001 a 2006

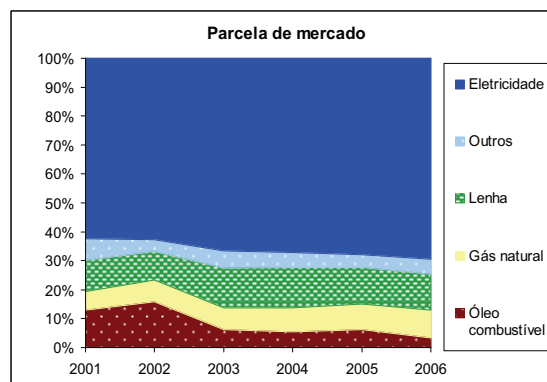


Figura 3.31: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos na categoria “outras indústrias”, de 2001 a 2006

A intensidade energética total, tal como a intensidade de energia térmica, decresceram no período analisado. Já a intensidade de energia elétrica apresentou um discreto crescimento no período analisado. O decréscimo da intensidade energética sinaliza um processo de eficiência energética no setor. Como não se tem dados referentes à produção do setor, e conseqüentemente do consumo específico, não se pode afirmar que houve realmente um processo de eficiência energética no setor.

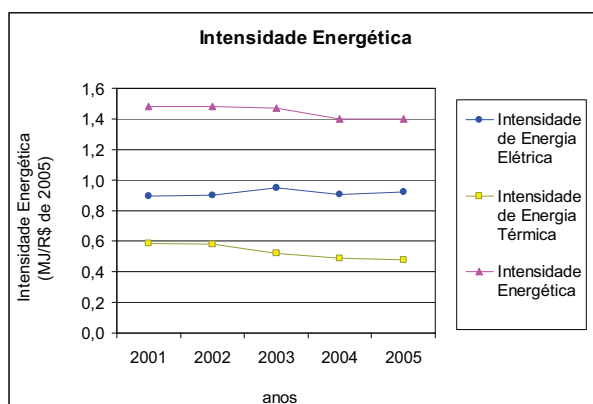


Figura 3.32: Intensidade energética da categoria “outras indústrias, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 2001 a 2005.

3.10 - Setor de outros minerais não metálicos

A indústria de outros minerais não metálicos, de acordo com a Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE), inclui, basicamente, os seguintes produtos: cal, gesso, fibrocimento, trabalhos em pedra e artefatos de concreto e outros. Dentre eles, os mais importantes, tanto no aspecto econômico quanto no consumo de energia são a cal e o gesso.

3.10.1 - Cal

Cal virgem e cal hidratada são produtos de grande versatilidade, presentes, de forma direta ou indireta, em uma infinidade de produtos e processos industriais. Pela sua diversidade de aplicações, a cal está entre os dez produtos de origem mineral de maior consumo no planeta.

A matéria-prima utilizada na produção de cal é basicamente rocha calcária. De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC), os maiores consumidores de cal são os setores de Construção Civil (37%), Siderurgia (22%), Pelotização (7%), Químico (7%) e Papel e Celulose (4%). As etapas do processo de produção de cal são: trituração, calcinação, hidratação e moagem.

3.10.2 - Gesso

O gesso pode ser encontrado com abundância na natureza, podendo ser utilizado cru (sem ser calcinado), ou processado. O gesso cru, também conhecido como gipsita, é utilizado pela indústria de cimento na fabricação do cimento Portland (3-5%) e na agricultura. Gesso calcinado é utilizado, principalmente, na construção civil, como revestimento de paredes, placas, painéis, etc. As etapas do processo de produção de gesso são a trituração, calcinação e moagem. A principal fonte de energia para os fornos de calcinação de gesso tem sido a lenha.

3.10.3 - Análise de indicadores

A participação do setor de outros minerais não metálicos no PIB apresentou oscilações no período analisado, mas manteve uma tendência de decréscimo. Em 2004, a participação do setor apresentou uma forte queda. No ano seguinte, esta participação foi de 0,19% no PIB Nacional.

O consumo energético do setor de outros minerais não metálicos cresceu em todo o período analisado. O energético mais utilizado pelo setor é o óleo combustível, que, em 2006, representava 25,9% de sua matriz energética (vide Figuras 3.33 e 3.34).

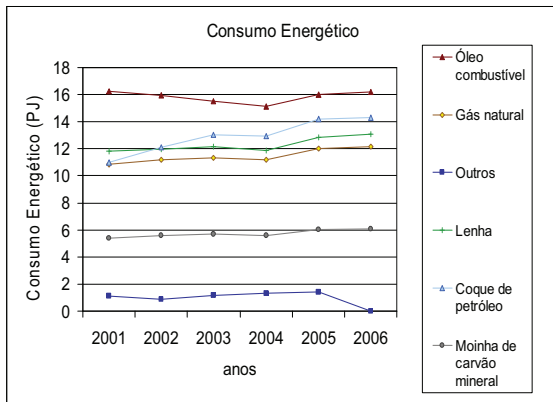


Figura 3.33: Consumo energético do setor de outros minerais não metálicos, em PJ, de 2001 a 2006

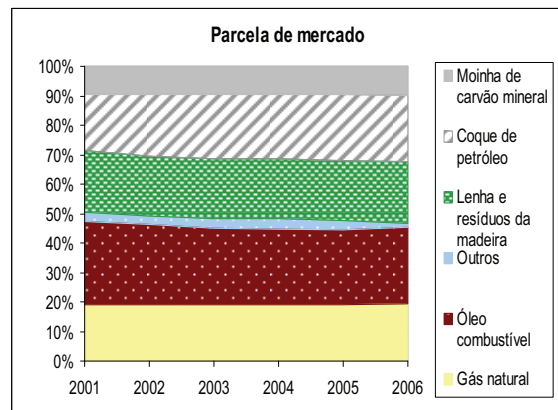


Figura 3.34: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de outros minerais não metálicos, de 2001 a 2006

O coque de petróleo é o segundo energético mais utilizado pelo setor. As parcelas de mercado do coque de petróleo e do gás natural são crescentes em todo o período. Nota-se um processo de substituição de energéticos, no qual o coque de petróleo e o gás natural penetram em um mercado antes ocupado pelo óleo combustível.

A intensidade energética do setor teve um grande pico em 2004, devido a uma forte queda no valor adicionado do setor, conforme ilustrado na Figura 3.35. Desconsiderando o ano de 2004, a intensidade energética apresentou uma tendência de redução no período analisado. A intensidade elétrica mantém-se razoavelmente estável em todo o período, apresentando poucas variações.

O consumo específico do setor apresentou grandes oscilações de 2001 a 2005, atingindo um ápice em 2003, de 6,74GJ/t. No entanto, este valor ainda se situa abaixo do consumo específico médio da indústria de cal na União Européia e nos EUA, que é de 7,2 GJ/t. O setor de outros minerais não metálicos tem um grande potencial de economia de energia, promovendo eficiência em seus processos, fato que é ilustrado pelas grandes variações no consumo específico (vide Figura 3.36).

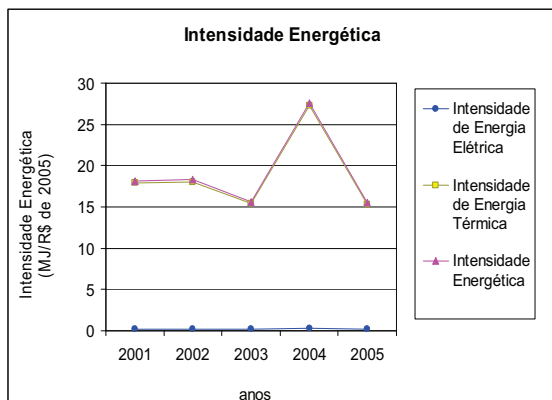


Figura 3.35: Intensidade energética do setor de outros minerais não metálicos, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 2001 a 2005

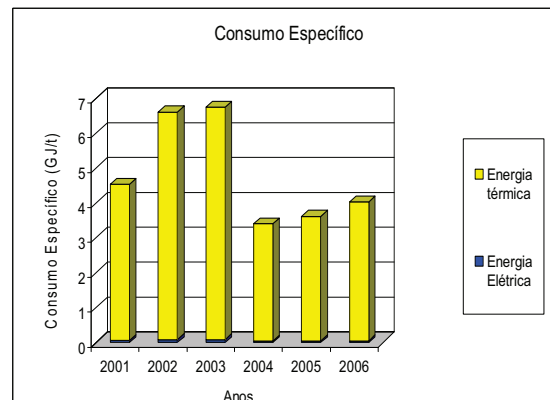


Figura 3.36: Consumos energéticos específicos do setor de outros minerais não metálicos, em GJ/t, de 2001 a 2005

3.11 - Setor de papel e celulose

A indústria de papel e celulose é um importante segmento no setor de transformação do Brasil. Caracteriza-se como intensivo em energia, água e matéria-prima. Responsável por uma considerável participação no PIB, com milhares de hectares de florestas plantadas e gerando grande número de empregos, este segmento tem sido constantemente questionado à luz da sustentabilidade.

O Brasil é o sexto maior produtor de celulose do mundo e o décimo segundo produtor de papel. Parte da celulose é exportada e parte é utilizada na produção brasileira de papel, etapa que envolve maior consumo energético no processo produtivo. No Brasil, o setor de papel e celulose caracteriza-se por ser intensivo em capital e mão de obra, ter base florestal, forte concentração fundiária, e longo prazo para a maturação dos seus investimentos, aspectos que levam à concentração econômica. Nota-se, neste setor, uma tendência de aumentar os programas de fomento florestal, comprando a madeira de vários pequenos produtores, e diminuindo o risco relacionado às questões fundiárias.

Apenas no setor de celulose e papel, 108 mil empregos são gerados diretamente e milhares indiretamente por 220 empresas, seja nas florestas, seja no processamento industrial. Cerca de 45 mil pessoas trabalham diretamente empregadas nas florestas da indústria de celulose e papel.

No processo produtivo, a pasta celulósica pode ser obtida a partir de fibras recicladas, ou através de fibras virgens oriundas da madeira. Através de processos químicos, que utilizam soluções aquosas contendo reagentes para a remoção da lignina, que é o elemento ligante das fibras da madeira, obtém-se a separação destas fibras. A pasta resultante contém uma grande concentração de celulose. Uma combinação entre o tipo de fibra, processo, alvejamento e matéria prima resulta na produção de diferentes tipos de pastas e, conseqüentemente, na obtenção dos vários tipos de papel (Bajay *et alii*, 2008).

O setor de papéis divide-se em diversos segmentos: papel de imprensa, papéis de imprimir e escrever, embalagens de papel e papelão, papéis para fins sanitários, cartões e cartolinas e papéis especiais. Para cada tipo de papel utiliza-se, como matéria prima, celulose de fibra longa ou curta, de acordo com as características a serem obtidas.

A celulose de fibra longa confere ao papel resistência mecânica, sendo utilizada, principalmente, para a fabricação de papéis de embalagem. No Brasil, esta celulose é obtida a partir do pínus. A celulose de fibra longa também é adequada à produção de pastas de alto rendimento (PAR), da qual se obtém um papel de menor qualidade.

O eucalipto é a matéria-prima de fibra curta mais utilizada no Brasil, independente do processo produtivo adotado. As fibras celulósicas curtas são mais macias e possuem menor resistência mecânica, sendo utilizadas, principalmente, para papéis de impressão e escrita.

No Brasil, as florestas plantadas são a principal matéria-prima para a produção de celulose e papel. As plantações de pínus e eucalipto para fins industriais são manejadas dentro de avançadas técnicas da silvicultura, e ocupam áreas anteriormente degradadas pela agricultura e

pecuária. A base florestal do setor é de 1,7 milhões de hectares com plantio de pinus e eucalipto, que representa 0,2% das terras agriculturáveis do país (Bracelipa, 2008).

O Brasil possui uma vantagem competitiva na produção de celulose, que se dá pelo ótimo crescimento do eucalipto em solos brasileiros. Enquanto países como o Canadá demoram até 45 anos para efetuar o corte da madeira, obtendo uma produtividade de 7 m³/hectare.ano de madeira, o Brasil é agraciado com um corte a cada 7 anos, resultando em uma produtividade de até 50 m³/hectare.ano, segundo (Bajay *et alii*, 2008). O tempo de maturação de uma árvore, do seu plantio ao corte determina um claro diferencial de custos.

A madeira para obtenção de fibras é originada de áreas reflorestadas. Mesmo assim, notam-se vários impactos ambientais decorrentes da produção de papel e celulose, como a derrubada de grandes áreas verdes, a exaustão do solo, a redução na variedade de espécies nas florestas plantadas, e a geração de grandes quantidades de emissões gasosas, efluentes hídricos e resíduos sólidos, oriundos das várias etapas do processo de produção. Há, ainda, a interferência no ciclo de águas, devido à grande quantidade de água usada na irrigação.

Para minimizar estes impactos, as empresas do segmento começam a utilizar alternativas como técnicas de manejo de solo intercalando culturas, inserção de fauna e flora em florestas nativas circunvizinhas, aproveitamento dos resíduos florestais, e novas técnicas de reprodução vegetal. A exclusiva utilização de florestas plantadas pela indústria de celulose e papel diminui a pressão de desmatamento sobre as florestas nativas, bem como visa proteger leitos de rios através de matas ciliares. As florestas plantadas visam, ainda, contribuir para a preservação da biodiversidade, com a adoção de técnicas de plantios consorciados com matas nativas, na formação de corredores ecológicos.

As empresas nacionais tem se esforçado para obter certificados florestais, que asseguram a utilização de critérios de sustentabilidade na gestão de áreas florestais, para se manterem competitivas. Produtos originários de produtores cujas plantas apresentam problemas ambientais como a emissão de efluentes poluentes, o não uso de florestas plantadas, ou que não utilizam em

maior grau fibras recicladas em seu processo produtivo, apresentam certo grau de rejeição no mercado internacional.

A regulação da atividade florestal encontra-se sob responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente (MMA), sendo considerada uma atividade extrativista e não uma atividade agrícola (Ministério da Agricultura e Pecuária), sofrendo exigências ambientais e deixando de usufruir de benefícios agrícolas como financiamentos (Bajay *et alii*, 2008).

A atividade de reciclagem de papel velho, conhecido como aparas, também constitui um importante insumo do processo de fabricação de papel. O uso de aparas é combinado com o uso de matéria prima fibrosa virgem para se obter as características desejadas do papel. A reciclagem dos papéis é, tecnicamente, difícil após quatro a cinco ciclos sem a entrada constante de matérias-primas fibrosas virgens no processo.

O Brasil recicla 3,4 milhões de toneladas de papel por ano, o que corresponde a 46,9% do consumo aparente nacional. Além disso, aproximadamente 50% de toda a energia elétrica consumida pelo setor é auto-gerada no próprio processo de produção de celulose, cujo parque gerador próprio é de 1.138 MW de potência instalada (Bajay *et alii*, 2008).

A reciclagem de papel vem tendo um destaque crescente, na medida em que contribui para a preservação e conservação do meio ambiente e para a solução da questão da destinação dos lixos urbanos, além de proporcionar emprego para populações carentes.

3.11.1 - Análise de indicadores

O setor de papel e celulose representa, em média, 1,2% do Produto Interno Bruto do Brasil. Pode-se observar um comportamento cíclico no desempenho econômico desta indústria. Este setor tem apresentado, em geral, crescimento desde 1995, com aumento da produção e do valor agregado.

Os investimentos realizados pelo setor de papel e celulose são significativos, representando cerca de 4% do valor agregado do setor. Estes investimentos sinalizam que o setor de papel e celulose tende a manter-se em crescimento.

As figuras 3.37 e 3.38 apresentam o consumo energético e as parcelas de mercado dos energéticos do setor de papel e celulose, respectivamente. O energético mais utilizado pelo setor de papel e celulose é a lixívia, ou licor negro, um resíduo do processo industrial, oriundo da biomassa. O consumo de lixívia deste segmento industrial tem crescido acentuadamente. A participação da lixívia na matriz energética do setor de papel e celulose aumentou de 34%, em 1995, para 44,9%, em 2006.

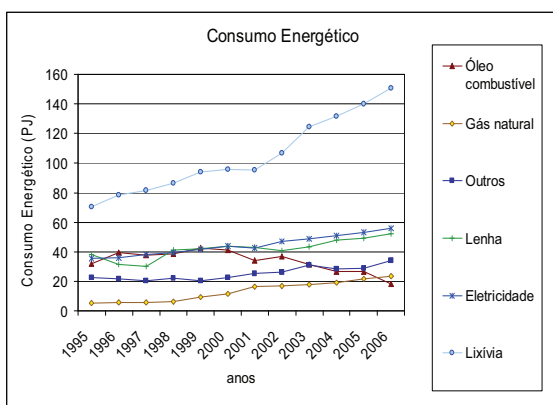


Figura 3.37: Consumo energético do setor de papel e celulose, em PJ, de 1995 a 2006

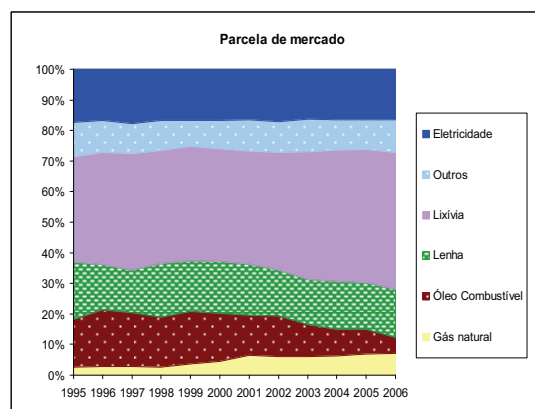


Figura 3.38: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor de papel e celulose, de 1995 a 2006

A eletricidade é o segundo energético em importância para o setor, sendo utilizado principalmente no processo de produção de papel. Em 2006, a parcela de mercado referente à eletricidade foi de 16,6%.

A lenha também é um importante energético para o setor de papel e celulose, representando 15% do consumo energético total. A parcela de mercado da lenha apresentou-se decrescente no período analisado, perdendo espaço para a lixívia.

O *mix* de energéticos denominado “outros” engloba o consumo de carvão vapor, bagaço de cana, óleo diesel, gás liquefeito de petróleo, coque de petróleo, querosene, e outras recuperações do processo produtivo.

O gás natural tem tido uma participação crescente na matriz energética do setor. A parcela de mercado do óleo combustível, por sua vez, tem sido decrescente, caracterizando um processo de substituição deste energético por gás natural.

O bagaço de cana e o gás natural são os energéticos que apresentaram maior crescimento de seus consumos no período de 1995 a 2004, com taxas de crescimento de 20% e de 15,5%, respectivamente.

As plantas de produção de papel e celulose priorizam a cogeração de energia, pois precisam de vapor e energia elétrica em abundância, e não podem descartar as possibilidades de auto-suficiência e segurança no suprimento energético. A má qualidade do fornecimento de energia elétrica, com variações de tensão e interrupções no fornecimento prejudica o processo produtivo, sobretudo nas máquinas de papel.

A cogeração de energia propiciou ganhos consideráveis na autoprodução de eletricidade e na redução do consumo de outros energéticos. Além disso, solucionou um outro problema ambiental referente ao descarte de um efluente, a lixívia, que anteriormente era descartada *in natura* nos rios, causando uma verdadeira degradação para o meio ambiente.

Como se pode observar na Figura 3.39, a intensidade energética do setor de papel e celulose oscila bastante, mas apresenta uma tendência de decréscimo e estabilização em patamares inferiores. A intensidade de energia térmica, que apresenta oscilações no período, é a principal parcela que compõe a intensidade energética. A intensidade de energia elétrica mantém-se razoavelmente estável no período analisado.

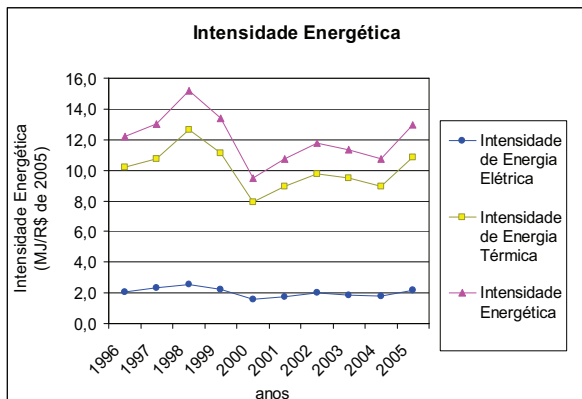


Figura 3.39: Intensidade energética do setor de papel e celulose, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1995 a 2005

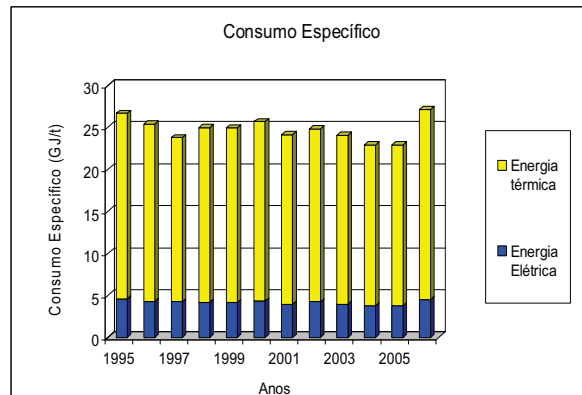


Figura 3.40: Consumos energéticos específicos do setor de papel e celulose, em GJ/t, de 1996 a 2005

O indicador de consumo energético específico do setor apresenta oscilações em todo período e, também, pode se estabilizar em patamares inferiores. A maior parte do consumo específico setorial é devido à energia térmica (vide Figura 3.40). As grandes oscilações apresentadas no consumo específico de energia térmica sinalizam um potencial de economia de energia neste setor.

3.12 - Setor químico

O setor químico é um dos mais dinâmicos e complexos segmentos da indústria de transformação no País. É um setor energointensivo e o custo da energia associado aos produtos químicos básicos pode, em geral, representar até 60% do custo da produção. A indústria química é um dos setores base da economia, pois possui fortes efeitos de encadeamento para frente. (Bajay *et alii*, 2008).

A indústria química tem sido dividida em dois grandes grupos: o grupo dos produtos inorgânicos, que incluem ácidos, óxidos, silicatos e sais inorgânicos, entre outros; e o grupo de produtos orgânicos, no qual se destaca a indústria petroquímica, (Tolmasquim e Szklo, 2000)

3.12.1 - Segmentos da indústria química

A indústria química se ramifica em diversos segmentos. São destacados, aqui, dois importantes segmentos, que são a indústria petroquímica e a indústria de química fina.

3.12.1.1 - Indústria petroquímica

Na indústria petroquímica, a partir de processos sofisticados, as moléculas originais dos hidrocarbonetos, existentes no petróleo ou no gás natural, são quebradas, recombinaadas ou modificadas, dando origem a uma série de produtos, que, por sua vez, são “a base química” de outras indústrias.

Existem três principais gerações de produtos na indústria petroquímica: os produtos básicos, produtos intermediários e produtos finais. A geração de produtos finais é dividida nos segmentos de fertilizantes, plásticos e resinas, fibras, elastômeros e detergentes. Os produtos finais constituem a linha de frente da indústria petroquímica, determinando a evolução da indústria dentro de duas linhas básicas: a substituição de produtos não-sintéticos, em usos já estabelecidos, e a introdução de novos produtos, juntamente com o desenvolvimento de novos usos (Bajay *et alli*, 1995). Já as indústrias de transformação são conhecidas como a quarta geração da indústria petroquímica. São tantas e tão diversificadas que acabam interligando a atividade petroquímica com toda a sociedade industrial.

A indústria petroquímica necessita de altos investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), na busca de um desenvolvimento tecnológico acelerado, e de maior competitividade. Por isso, há uma predominância de grandes empresas na indústria petroquímica mundial.

3.12.1.2 - A indústria de química fina

A indústria de química fina produz matérias-primas para os medicamentos farmoquímicos. Sua cadeia abrange a elaboração de produtos químicos, classificados como intermediários e especialidades, de maior valor agregado que os produtos da cadeia petroquímica. Os produtos

intermediários servem como matéria-prima para a elaboração do produto final, contém o princípio ativo e são, também, chamados de fármacos.

3.12.2 - Matérias-primas

Tradicionalmente, de uma forma geral, a indústria química tem utilizado três substâncias como base de suas matérias-primas: (i) o cloreto de sódio – sal, que permite a produção de soda cáustica e cloro, a partir dos quais se tem toda uma linha de produtos derivados; (ii) o enxofre, que permite a produção de ácido sulfúrico e de seus produtos derivados; e, no caso do segmento petroquímico, (iii) o petróleo – na realidade frações deste, derivadas do refino – e o gás natural, a partir dos quais, através de operações de transformação em cadeia, tem-se todo um conjunto de produtos derivados (Bajay *et alli*, 1995).

No segmento petroquímico destacam-se como insumos: o gás de refinaria, que é subproduto dos processos de reforma e craqueamento; e as frações líquidas, dentre elas a nafta. Estes derivados de petróleo são utilizados na produção de produtos petroquímicos básicos como as olefinas (etileno e propileno) e os aromáticos (benzeno, tolueno e xilenos); estes últimos, por seu turno, são transformados em uma ampla gama de plásticos, borrachas sintéticas (elastômeros), resinas, solventes e outros produtos petroquímicos. (Bajay *et alii*, 2008)

O gás natural é também um importante insumo na indústria química. O gás natural é usado para produzir amônia, metanol e outros produtos. A amônia é usada principalmente na produção de fertilizantes. Etano, propano e butano são componentes do gás natural empregados na produção de olefinas.

3.12.3 - Cadeias produtivas

A indústria química não se presta à sua desagregação em segmentos homogêneos. Portanto, adota-se a desagregação da indústria química nas seguintes cadeias produtivas.

1 - Cadeia de produção de derivados do etileno

- 2 - Cadeia de produção de derivados do propileno
- 3 - Cadeia de produção de derivados do BTX (benzeno – tolueno – xilenos)
- 4 - Cadeia de produção de intermediários para fertilizantes
- 5 - Cadeia de produção de cloro-álcalis
- 6 - Outros produtos químicos com consumos energéticos elevados

3.12.4 - Análise de indicadores

A Associação Brasileira da Indústria Química - Abiquim não acompanha estatisticamente todos os segmentos da indústria química, concentrando-se, principalmente no segmento de produtos químicos de uso industrial. A Abiquim coleta anualmente estatísticas de capacidade instalada, produção, vendas internas e seu destino aproximado, importações e exportações de 200 produtos químicos de uso industrial.

Analisa-se, nesta seção, as séries históricas de alguns indicadores no setor químico para a compreensão do mercado deste setor, e detectar suas tendências. As séries foram montadas utilizando os dados de consumo energético do Balanço Energético Nacional 2007, os valores agregados foram trabalhados a partir das tabelas de Recursos e Usos do IBGE, e os investimentos foram retirados da Tabela de Desembolso do BNDES. Dados de produção e capacidade instalada da Abiquim também foram utilizados para determinar cenários específicos do setor químico.

O setor químico é um dos maiores contribuinte do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, dentre os setores industriais, alcançando 1,79% do PIB, em 2005. O valor adicionado do setor tem crescido de forma menos acelerada que o PIB. No entanto, a tendência detectada é que a participação do setor no PIB tende a aumentar suavemente.

A taxa de investimento do setor químico oscilou no período analisado, mas apresenta uma tendência de crescimento, atingindo 2,97% do seu valor adicionado em 2005.

O consumo energético do setor químico mostra-se crescente no período analisado (Figura 3.41). O gás natural é o principal energético utilizado por este setor; a sua parcela de mercado aumentou de 10,6%, em 1995, para 30,4%, em 2006 (Figura 3.42). O consumo de gás natural teve um crescimento de 14% ao ano no período analisado.. O segmento químico é o maior consumidor de gás natural na indústria brasileira (EPE, 2007a).

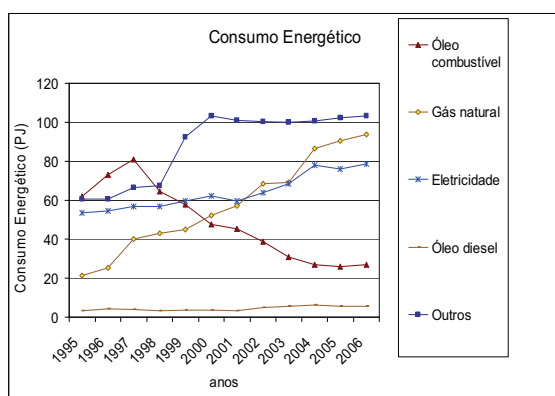


Figura 3.41: Consumo energético do setor químico, em PJ, de 1995 a 2006

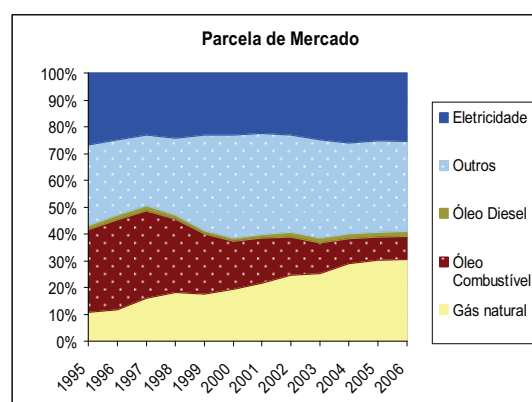


Figura 3.42: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor químico, de 1995 a 2006

No período analisado, houve uma redução da parcela de mercado do óleo combustível, de 30,8%, em 1995, para 8,8 %, em 2006, por conta de sua substituição por gás natural.

A eletricidade é o segundo energético mais consumido pelo setor químico. Em 2006, a eletricidade representou 25,5% de todos os energéticos consumidos pelo setor. O consumo de eletricidade cresceu, em média, 3,3% ao ano, no período analisado.

O óleo diesel não teve muita participação no período analisado. O *mix* de energéticos denominado “outros” nas Figuras 3.41 e 3.42 é composto por lenha, bagaço de cana, gás liquefeito de petróleo, querosene, gás canalizado, carvão vegetal, carvão vapor e “outras fontes secundárias do petróleo”. Em 2006, a participação dos energéticos denominados “outros” foi de

32,7% da matriz energética do setor. A categoria “outras fontes secundárias de petróleo” é constituída, principalmente, por resíduos, sobretudo gasosos, de processos de produção de derivados de petróleo e de produtos químicos que utilizam derivados de petróleo como matérias-primas; de baixo custo de oportunidade, eles dificilmente serão substituídos por outros combustíveis no futuro.

A intensidade elétrica do setor químico manteve-se praticamente constante durante todo o período analisado (Figura 3.43). Já a intensidade de energia térmica apresentou oscilações neste período, que se propagaram para a intensidade energética total. A intensidade energética total oscilou em torno de uma média de 7,5 MJ / (R\$ de 2005).

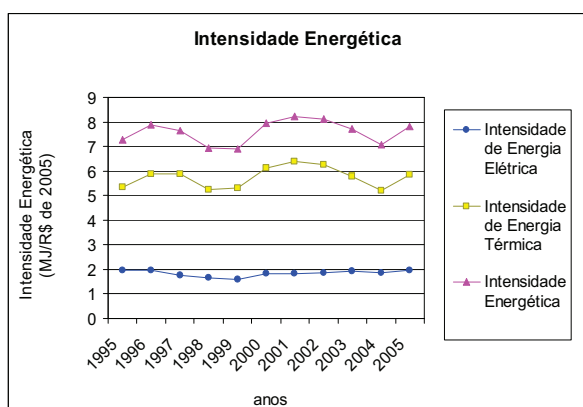


Figura 3.43: Intensidade energética do setor químico, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1995 a 2005

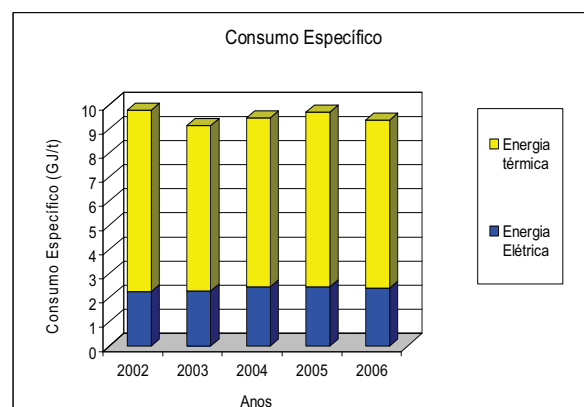


Figura 3.44: Consumos energéticos específicos do setor químico, em GJ/t, de 2002 a 2005

O setor químico é bastante heterogêneo e não possui dados de consumo energético desagregados por cadeias produtivas para o cálculo do consumo específico desagregado. Contudo o consumo específico total do setor foi estimado, baseado no consumo energético total e produção total dos produtos monitorados pela Abiquim, para a utilização nos modelos de projeção. O consumo específico apresentou oscilações no período analisado, em torno de uma média de 9,2 GJ/t (Figura 3.44).

3.12.5 - Possíveis rupturas

Em novembro de 2007, a Petrobrás anunciou a descoberta do megacampo de Tupi, em uma área ultraprofunda na Bacia de Santos, com reservas estimadas entre 5 bilhões e 8 bilhões de barris, o que ocasionará um grande crescimento da oferta de gás natural e petróleo no mercado nacional.

A jazida de Tupi está localizada no Pólo Pré-sal da Bacia de Santos, que possui outras grandes jazidas. Com 800 km de extensão e 200 km de largura, a camada de pré-sal se distribui pelas bacias de Santos, Campos e Espírito Santo e vai desde o litoral de Santa Catarina até o litoral do Espírito Santo. As jazidas de pré-sal contendo hidrocarbonetos leves podem mudar o perfil das reservas brasileiras, que em sua maior parte são de petróleo pesado, reduzindo a necessidade de importação de óleo leve e de gás natural.

Os reservatórios brasileiros no pré-sal estão localizados em águas ultraprofundas e abaixo de uma espessa camada de sal que, em certos locais, tem mais de 2 mil metros de espessura. Todos esses obstáculos mostram que será necessário fazer um grande esforço para criar as soluções tecnológicas que permitam a exploração destas reservas. Por isso, a Petrobras lançou um programa de 92 bilhões de dólares em investimentos, sendo 27% deste montante para o pré-sal e o pós-sal.

A produção de gás natural, da Bacia de Santos, na área do pré-sal, poderá chegar a até 120 milhões de metros cúbicos por dia (ANP). Deve-se considerar que parte deste valor será reinjetado para a produção de petróleo e que haverá queima e perdas no processo produtivo; por isso, só cerca de 60% será disponibilizado para o mercado interno.

A exploração destas reservas tende a propiciar uma maior oferta de matérias-primas para a indústria química. Este fato, certamente acarretará em uma ruptura da tendência de crescimento do valor adicionado do setor, que, em breve, deverá crescer em ritmos mais acelerados.

3.13 - Setor siderúrgico

A indústria siderúrgica abrange a produção de ferro-gusa e de aço. O processo de produção do aço pode ser dividido em quatro etapas principais: (i) a redução, que consiste na transformação do minério de ferro em ferro-gusa; (ii) o refino, que transforma o ferro-gusa em aço líquido; (iii) o lingotamento, onde ocorre a solidificação do aço; e (iv) a laminação. O termo aço bruto refere-se ao produto que deixa a etapa de lingotamento; após essa etapa, o aço pode ser convertido em uma série de produtos laminados, como barras, chapas, trefilados, etc.

As principais matérias-primas são minério de ferro, sucatas de ferro e aço, materiais fundentes – calcário e dolomita, carvão mineral, carvão vegetal e coque. O carvão mineral, além de constituir uma importante fonte de matéria prima dentro do processo produtivo, é a principal fonte energética consumida nas usinas siderúrgicas.

A indústria siderúrgica brasileira é composta por um conjunto de usinas integradas e não-integradas que produzem produtos laminados – placas, barras, tubos – e produtores independentes que produzem exclusivamente ferro-gusa. A região Sudeste é a principal produtora de aço, devido à disponibilidade de minério de ferro de excelente qualidade no Estado de Minas Gerais, e à proximidade dos principais mercados consumidores e de portos para exportação. Na região Norte, em especial nos Estados do Maranhão e do Pará, existem pólos de produtores independentes de ferro-gusa destinado à exportação. Esta produção ocorre ao longo da ferrovia de Carajás, utilizando carvão vegetal e minério de ferro proveniente das minas do Complexo de Carajás.

A indústria do aço brasileira foi a nona maior produtora de aço bruto do mundo em 2005, com uma produção de 31,6 milhões de toneladas, correspondendo a 2,8% do total mundial (IBS, 2006).

3.13.1 - Etapas da produção

3.13.1.1 - Redução

A etapa de redução do minério de ferro se processa no alto-forno, por meio da gaseificação do coque, ou do carvão vegetal, que fornecem tanto o agente redutor quanto a energia necessária ao processo. Existem três rotas tecnológicas alternativas para a realização da etapa de redução. São elas:

- i) Produção de ferro-gusa a partir de coque de carvão mineral e minério sinterizado, em altos-fornos;
- ii) Produção de ferro-gusa a partir de carvão vegetal e minério pelletizado, ou sinterizado, em altos-fornos;
- iii) Produção de ferro esponja a partir de minério pelletizado, através de redução direta, consumindo carvão não coqueificável, ou gás natural.

Na primeira rota tecnológica citada acima, faz-se o processo de coqueificação para a obtenção de coque de carvão mineral. Tem-se, como subproduto deste processo, um gás combustível, o chamado gás de coqueria, usado como insumo energético na usina.

Em muitas jazidas de minérios de ferro, uma parte do minério é constituída por material que se desagrega facilmente, produzindo finos que não podem ser usados diretamente no alto-forno, ou na redução direta. Tais finos são aglomerados em processos de sinterização, ou de pelletização, produzindo material de granulometria controlada e excelente rendimento nos altos-fornos (Bajay *et alii*, 2008).

Um subproduto da operação de alto-forno é o gás de alto-forno, que possui baixo poder calorífico, mas que, geralmente, é utilizado em várias etapas da produção de aço e na autoprodução de eletricidade.

O conjunto de etapas denominado redução, que engloba a redução em si mais a coqueificação e sinterização, representa entre 65% e 70% do consumo energético global em unidades integradas convencionais a coque.

3.13.1.2 – Refino

O refino, ou seja, a conversão de ferro-gusa em aço pode ser feita em conversores a oxigênio, ou em fornos elétricos. No Brasil, os conversores a oxigênio são mais utilizados nas usinas integradas, enquanto que os fornos elétricos são mais utilizados nas usinas semi-integradas.

3.13.1.3 - Lingotamento

A partir da obtenção do aço líquido, abrem-se duas possibilidades na etapa de lingotamento. No processo convencional, em bateladas, o aço é vazado em moldes – lingotes, onde é solidificado. No processo de lingotamento contínuo, há ganhos na qualidade do aço produzido, com perdas de aço inferiores e um menor consumo de energia, utilizando-se o gás natural como combustível complementar. Em 2005, 93% do aço produzido no Brasil foi lingotado através do processo contínuo. O consumo global de energia na etapa de lingotamento é pequeno, perto de 2% do total.

3.13.1.4 - Laminação

Na laminação o consumo energético é baixo. Trata-se, basicamente, de uma etapa de ação mecânica sobre o produto, envolvendo o consumo de energia elétrica. Pode haver uma etapa preliminar à laminação, de reaquecimento do aço, no qual é utilizada energia térmica. Contudo, existem também os produtos laminados a frio, que são, geralmente, recozidos antes das etapas finais do processamento.

As usinas semi-integradas produzem aço a partir do ferro-gusa. Assim, estas usinas não possuem a etapa de redução e nem os gases residuais provenientes destes processos (gás de alto-forno e gás de coqueria). Portanto, estas usinas necessitam de um combustível para fornos de reaquecimento, que usualmente são o óleo combustível, ou o gás natural.

3.13.2 - Análise de indicadores

A participação do setor siderúrgico, juntamente com o setor de ferro ligas, no PIB nacional cresceu de 0,46%, em 1996, para 0,95%, em 2005. Este comportamento do valor agregado se deve a esforços de redução de custos, bons preços para o aço nos mercados nacional e internacional e à maior participação de produtos mais valorizados no *mix* de produtos desta indústria. As contas nacionais, elaboradas pelo IBGE, não desagregam os dados econômicos dos setores de ferro-gusa e de ferro ligas.

O valor unitário de produção do aço também cresceu no período analisado, de uma forma semelhante à participação do setor siderúrgico no PIB, devido ao crescimento do valor adicionado setorial. Em 2004, o aço apresentou altos preços nos mercados internacionais.

A indústria siderúrgica tem realizado altos investimentos. Em 1998, este setor apresentou a maior taxa de investimento de todo o período analisado, 67% de seu valor adicionado. Os investimentos realizados têm seguido ciclos.

De acordo com o Balanço Energético Nacional, em 1995 a energia consumida na indústria siderúrgica foi de 731 PJ, que correspondeu a 23,8% de toda a demanda de energia do setor industrial. O consumo energético do setor aumentou em 21,6% de 1995 a 2006, representando um crescimento médio anual de 1,16%.

O coque de carvão mineral é o energético mais importante para a indústria siderúrgica. Contudo, este combustível vem perdendo participação no consumo energético total do setor siderúrgico; sua parcela de mercado caiu de 47%, em 1995, para 34,7%, em 2005. Tem havido um processo de substituição do coque de carvão mineral pelo carvão mineral e pelo carvão vegetal (vide Figuras 3.45 e 3.46).

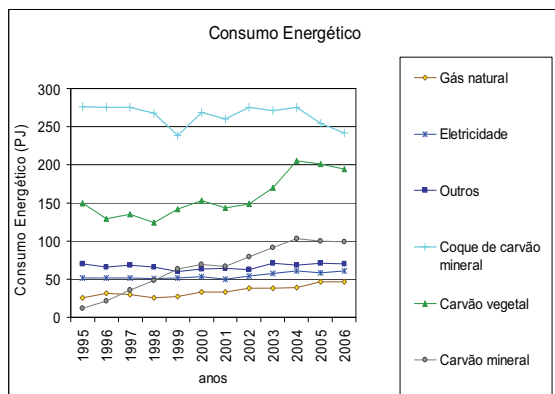


Figura 3.45: Consumo energético do setor siderúrgico, em PJ, de 1995 a 2006

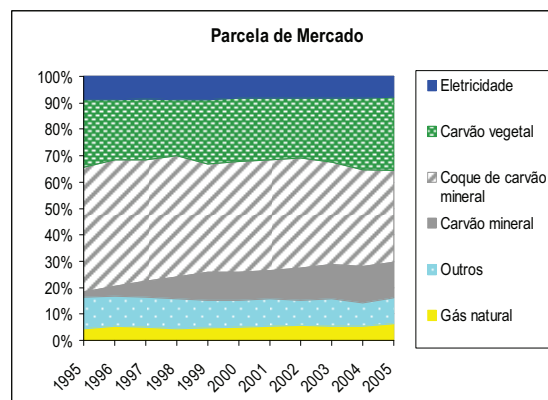


Figura 3.46: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor siderúrgico, de 1995 a 2006

O carvão vegetal é o segundo energético mais consumido no setor siderúrgico. Ele manteve uma parcela de mercado em torno de 25% no período analisado. O consumo, em termos absolutos, de carvão vegetal mostrou-se crescente de 1995 a 2006.

O carvão mineral é o terceiro energético em importância para o setor, e tem substituído o coque de carvão mineral. Em 2005, o carvão mineral representou 13,6% da matriz energética do setor siderúrgico.

O consumo de eletricidade apresentou um pequeno crescimento no período analisado, e sua parcela de mercado manteve-se praticamente constante, cerca de 8%.

A participação do gás natural na matriz energética do setor siderúrgico mostrou crescente no período analisado, embora pequena, fechando 2005 com apenas 6,4%.

O mix de energéticos denominado “outros” abrange o consumo de óleo diesel, óleo combustível, gás liquefeito de petróleo, querosene, gás de coqueria, gás canalizado e alcatrão. O mix de “outros” energéticos possui uma participação na matriz energética do setor siderúrgico em torno de 10%, decrescente no período analisado.

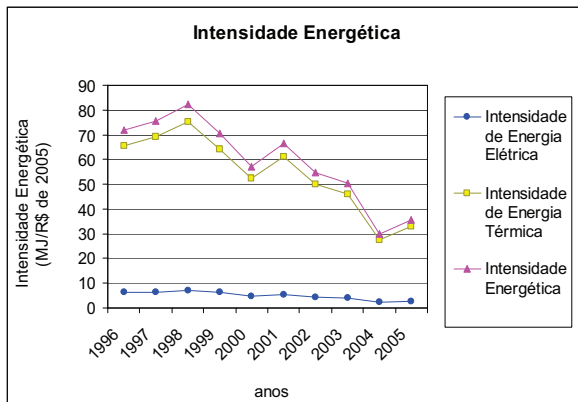


Figura 3.47: Intensidade energética do setor siderúrgico, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1995 a 2005

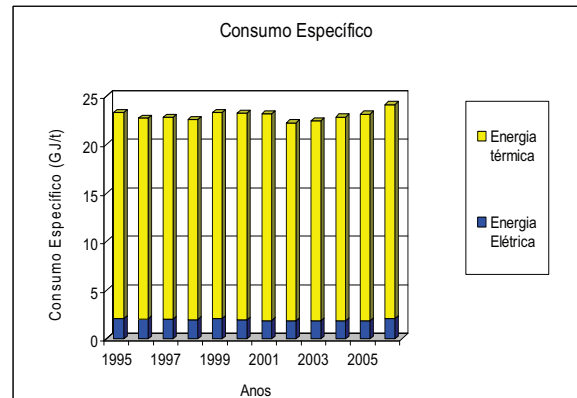


Figura 3.48: Consumos energéticos específicos do setor siderúrgico, em GJ/t, de 1995 a 2006

A intensidade energética do setor siderúrgico apresentou uma forte queda no período analisado, devido à queda da intensidade de energia térmica do setor. Este fato se deve a um crescimento do valor agregado em maior escala que o crescimento do consumo energético.

O consumo específico de eletricidade do setor siderúrgico manteve-se aproximadamente constante no período analisado. Já o consumo específico de energia térmica apresentou um ligeiro aumento, mantendo uma média de 22,8 GJ/t.

3.14 - Setor têxtil

A indústria têxtil é uma das mais antigas do mundo. Desenvolveu-se inicialmente de forma artesanal e só após a revolução industrial no século XVIII, com a invenção das máquinas de fiar e de tecer, é que o setor se expandiu.

O Brasil foi, em 2004, o oitavo produtor mundial têxtil, totalizando 1.575 milhões de toneladas de tecidos; foi também o sétimo produtor mundial em confecção, produzindo 1.740

milhões de toneladas. A China e a Índia são os principais produtores internacionais desses produtos (IEMI, 2006).

A cadeia têxtil é dividida a partir da matéria prima nos seguintes grupos homogêneos: fiação, tecelagem ou malharia, beneficiamento, confecção, e a etapa opcional de lavagem industrial.

Primeiro, as fibras são transformadas em fios, que podem ser crus ou já tingidos. Os fios são convertidos em tecidos/malhas, ou em outros produtos. Após a fabricação dos tecidos/malhas, estes são tingidos ou estampados, para serem posteriormente confeccionados, chegando ao produto final, que pode ir ou não às lavanderias industriais.

Os tecidos podem ser de origem animal como a lã e a seda, de origem vegetal, como o algodão e o linho, e até de origem mineral, fabricados a partir de amianto e fibra basáltica; estes últimos podem ser utilizados na fabricação de isolamentos acústicos ou cobertores anti-fogo.

As fibras sintéticas são produzidas a partir de polímeros sintéticos como o poliéster e a poliamida (náilon), que podem ser utilizados puros ou misturados. Estas fibras são normalmente empregadas na fabricação de vestimentas.

As etapas de beneficiamento e lavagem industrial consomem, principalmente, combustíveis, na forma de calor de processo. As etapas de fiação, tecelagem e malharia, e confecção consomem, basicamente, eletricidade no seu processo produtivo.

3.14.1 - Análise de indicadores

A participação do setor têxtil no PIB sofreu uma grande queda no período analisado: de 1,83% em 1995 para 1,14% em 2005. Tal como ocorreu com a participação do setor no PIB, o valor unitário de produção também experimentou um forte decréscimo no período. O decréscimo de ambos os indicadores deve-se a queda do valor agregado do setor, reflexo da concorrência crescente de importações baratas, sobretudo da China.

Os investimentos do setor têxtil situam-se em torno de 6% do valor agregado do setor. Eles não têm se mostrado suficientes para alavancar o crescimento do setor.

O consumo energético do setor têxtil cresceu de 1995 a 2006. O energético de maior consumo no setor têxtil é a eletricidade, que possui uma parcela de mercado crescente no período, atingindo 55% do consumo energético total do setor em 2006 (vide Figuras 3.49 e 3.50).

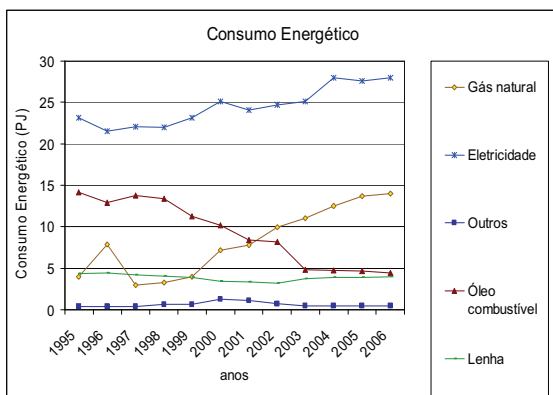


Figura 3.49: Consumo energético do setor têxtil, em PJ, de 1995 a 2006

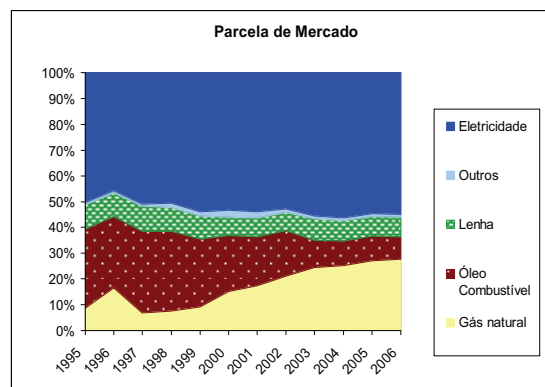


Figura 3.50: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos no setor têxtil, de 1995 a 2006

Na década de 1990, a China exportou enormes quantidades de tecidos e fios já beneficiados para o Brasil, para serem, posteriormente, confeccionados dentro do País. O maior uso da etapa de confecção, por ser eletrointensiva, tem provocado uma maior participação da eletricidade na cadeia têxtil.

O segundo energético de maior consumo no setor é o gás natural, que foi responsável por 27,5% do consumo energético total em 2006. A partir de 2000, o gás natural entrou efetivamente no setor têxtil, substituindo o óleo combustível e a lenha. Já é possível notar certa maturação do gás natural no setor para fins térmicos. Uma penetração adicional do gás natural, substituindo o óleo combustível, torna-se mais difícil no futuro, pois o consumo residual do óleo encontra-se pulverizado, localizando-se distante das redes de distribuição de gás natural, ou com preço mais

competitivo do que o gás natural, que, com baixos volumes consumidos, se torna mais caro do que o óleo (Bajay *et alii*, 2008).

O consumo de óleo combustível declinou em todo período analisado e sua parcela de mercado também foi reduzida, indicando um processo de substituição energética deste combustível pelo gás natural. Contudo, o óleo combustível ainda é o terceiro energético em importância no setor, representando 8,7% dos energéticos consumidos em 2006.

A lenha também teve sua parcela de mercado reduzida no período analisado, por conta de sua substituição por gás natural. O gás liquefeito de petróleo e “outros” energéticos, compostos pelo carvão vegetal, querosene e óleo diesel, ocupam uma parcela irrisória do mercado do setor têxtil.

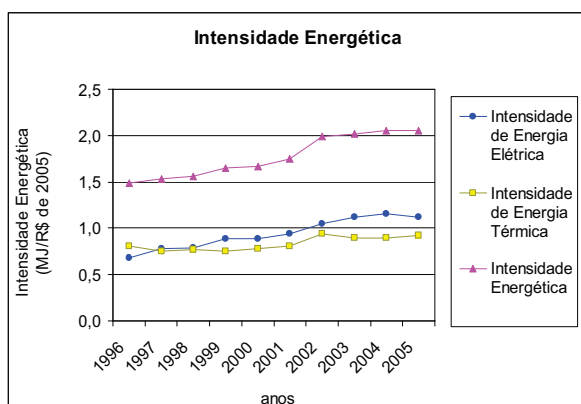


Figura 3.51: Intensidade energética do setor têxtil, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 1996 a 2005

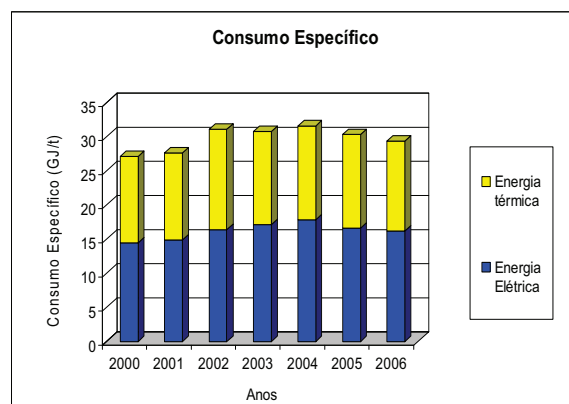


Figura 3.52: Consumos energéticos específicos do setor têxtil, em GJ/t, de 2000 a 2006

As intensidades de energia térmica e de energia elétrica energética cresceram em todo o período analisado, conforme ilustrado na Figura 3.51. O crescimento destes indicadores deve-se à forte queda do valor agregado do setor neste período. O aumento da intensidade elétrica deve-se, também, ao aumento da participação das confecções na cadeia produtiva do setor.

A Figura 3.52 mostra que os consumos energéticos específicos do setor têxtil também cresceram no período analisado. O consumo específico de eletricidade aumentou 11% entre os anos de 2000 a 2006, enquanto que o consumo específico de energia térmica apresentou um aumento de 4% no mesmo período.

Os crescimentos tanto da intensidade energética como do consumo específico demonstram um mau uso da energia no setor. Enquanto as leis de mercado apontam para um uso mais eficiente de energia, para a redução dos custos, o setor têxtil caminha em sentido contrário.

3.15 - Setor da indústria de vidros

Os vidros são amplamente utilizados por diversos setores industriais, como a indústria de construção civil e a automobilística; eles também são usados como embalagens de produtos alimentícios, farmacêuticos e cosméticos, dentre outros usos. Em geral, os vidros são classificados em quatro grandes áreas: vidros planos, vidros especiais, de embalagem e de uso doméstico.

As matérias-primas para a produção do vidro são, tipicamente, a areia, barrilha, calcário, dolomita, feldspato e aditivos como o sulfato de sódio, ferro, e outros. As matérias-primas são misturadas e fundidas em fornos a uma temperatura em torno de 1.500 °C, formando uma massa semi-líquida que dá origem aos vários produtos de vidro. Trata-se de uma indústria energointensiva (Bajay *et alii*, 2008).

As etapas do processo produtivo da indústria vidreira englobam a preparação de matéria prima, a fusão, a conformação, o recozimento e, por fim, as operações secundárias, tais como a têmpera, curvamento e lapidação.

3.15.1 - Análise de indicadores

A participação da indústria de vidros no PIB nacional oscilou no período analisado. Em 2005, este indicador representou 0,10% do PIB. Em 2004, houve um grande aumento desta

participação no PIB devido a um grande crescimento do valor agregado do setor. Este fato refletiu também nos indicadores de intensidade energética e de valor unitário da produção.

Os investimentos do setor não são elevados. Em 2005, o setor de vidros investiu 6,19% de seu valor adicionado.

O valor unitário de produção apresentou uma tendência de leve crescimento no período. Em 2005, este valor foi de 8645 R\$ de 2005/t. No ano de 2004 houve um salto no valor unitário de produção, devido à alta no valor adicionado do setor.

O consumo energético da indústria de vidros não é abordado individualmente no Balanço Energético Nacional, que o inclui no setor “outras indústrias. Os dados energéticos utilizados neste setor foram compilados por Álvaro Afonso Furtado Leite (Bajay *et alii*, 2008), a partir de dados da Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (Abividro) e de entrevistas com representantes de empresas do setor.

O consumo energético e as parcelas de mercado dos energéticos utilizados na indústria de vidros, no período 2001-2006, são apresentados nas Figuras 3.53 e 3.54, respectivamente. O consumo energético cresceu no período analisado. O energético mais consumido no setor é o gás natural, que teve uma forte penetração neste mercado, substituindo o óleo combustível. Em 2006, o gás natural representou 75,9% dos energéticos consumidos pelo setor.

O óleo combustível perdeu mercado rapidamente no setor de vidros; sua participação no consumo total de energia deste setor caiu de 33%, em 2001, para 10,7%, em 2006.

Os consumos energéticos de eletricidade e de gás liquefeito de petróleo tiveram uma participação pequena na matriz energética do setor, mas mantiveram-se estáveis em todo o período.

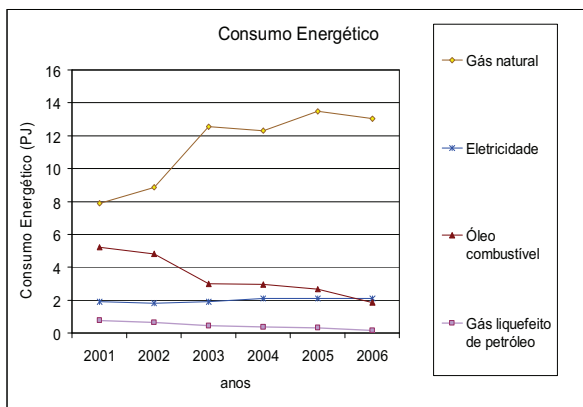


Figura 3.53: Consumo energético da indústria de vidros, em PJ, de 1995 a 2006

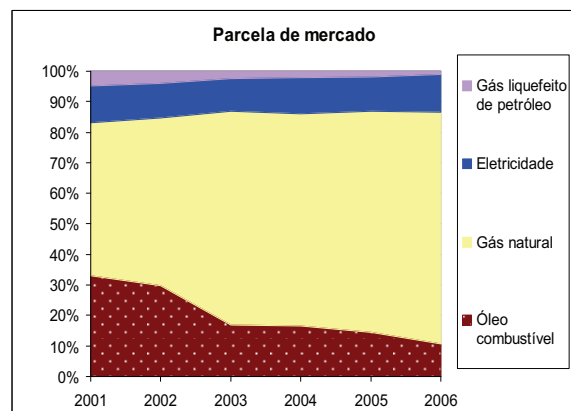


Figura 3.54: Parcelas de mercado dos energéticos consumidos na indústria de vidros, de 2001 a 2006

A intensidade energética da indústria de vidros (Figura 3.55) apresentou uma tendência de redução. Em 2004, um ano atípico, houve uma forte queda na intensidade energética, devido à alta no valor adicionado do setor.

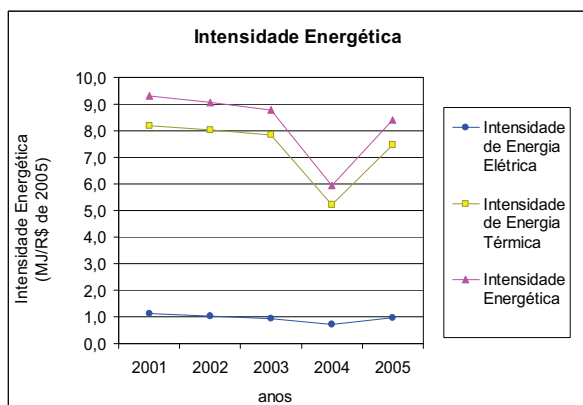


Figura 3.55: Intensidade energética da indústria de vidros, em MJ/(R\$ constantes de 2005), de 2001 a 2005

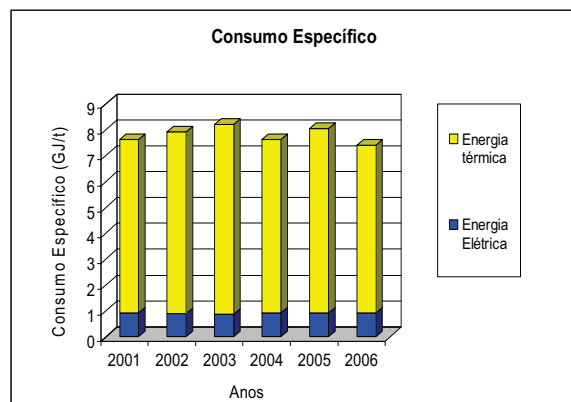


Figura 3.56: Consumos energéticos específicos da indústria de vidros, em GJ/t, de 1998 a 2005

Conforme ilustrado na Figura 3.56, o consumo energético específico total da indústria de vidros oscilou em todo o período analisado. O consumo específico de eletricidade apresentou um comportamento mais estável, fechando 2006 com 0,825 GJ/t. Já o consumo de energia térmica apresentou maiores variações, mas pode-se detectar uma tendência de decréscimo deste indicador, que caiu de 6,71 GJ/t em 2001 para 5,87GJ/t em 2006.

3.16 – Algumas comparações

Em 2005, o setor industrial teve uma participação de 15,26% no PIB do Brasil. Conforme apresentado nas tabelas 3.2 e 3.3, os segmentos industriais que mais contribuíram na formação do PIB naquele ano foram: outras indústrias, com 6,18%; alimentos e bebidas, com 2,4%; e setor químico, com 1,79%.

Os setores que obtiveram os maiores valores unitários de produção foram: o setor têxtil, com 14.792 R\$ de 2005 /t; papel e celulose, com 1.765 R\$ de 2005 /t; e o setor químico, com 1.237 R\$ de 2005 /t.

Os setores que apresentaram as maiores intensidades energéticas em 2005 foram: cerâmica, com 51.870 kJ/R\$ de 2005; cimento, com 42.362 kJ/R\$ de 2005; e siderúrgico, com 35.660 kJ/R\$ de 2005. As maiores intensidades elétricas foram encontradas nos seguintes segmentos: metais não ferrosos, com 19.481 kJ/R\$ de 2005; fundições, com 6.426 kJ/R\$ de 2005; e cimento, com 5.158 kJ/R\$ de 2005.

Os setores com maiores consumos energéticos específicos totais são o de ferro ligas, com 65GJ/t; têxtil, com 29 GJ/t, e siderúrgico, com 23 GJ/t. Os setores com maiores consumos específicos de eletricidade são o de ferro ligas, com 27 GJ/t, têxtil, com 16GJ/t, e papel e celulose, com 3,789 GJ. Os setores com maiores consumos específicos de combustíveis são o de ferro ligas, com 37 GJ/t, siderúrgico, com 21GJ/t, e o de papel e celulose, com 19 GJ/t.

Tabela 3.2: Indicadores econômicos e de consumos energéticos para os setores industriais analisados, em 2005

Setores industriais	Participação no PIB (%)	Valor Unitário de Produção (R\$ de 2005/t)	Taxa de investimento (%)	Consumo energético (GJ)	Consumo de energia térmica (GJ)	Consumo de energia elétrica (GJ)
Alimentos e bebidas	2,40	415	-	842.510.746	765.139.927	77.370.819
Cerâmica	0,13	95	1,88	142.844.337	131.551.380	11.292.957
Cimento	0,13	76	-	118.529.180	104.095.839	14.433.342
Extrativa mineral	0,71	13	-	121.612.027	86.920.165	34.691.862
Ferro ligas	-	-	-	67.551.847	39.699.297	27.852.550
Fundições	0,08	79	44,49	20.817.897	10.269.900	10.547.996
Metais não ferrosos	0,30	17	40,01	227.359.690	101.784.857	125.574.833
Outras indústrias	6,18	-	11,66	195.532.900	64.270.450	131.262.450
Outros minerais não metálicos	0,19	65	-	63.228.808	62.440.019	788.789
Papel e celulose	1,15	1.765	5,79	321.715.909	268.520.886	53.195.023
Químico	1,79	1.237	2,97	300.136.453	224.181.265	75.955.189
Siderúrgico	0,95	649	22,49	731.025.088	672.519.986	58.505.102
Têxtil	1,14	14.792	6,44	50.344.826	22.727.027	27.617.799
Vidros	0,10	865	6,19	17.177.420	15.060.660	2.116.760

Tabela 3.3: Indicadores energéticos para os setores industriais analisados, em 2005

Setores industriais	Intensidade energética (kJ/R\$ de 2005)	Intensidade de energia térmica (kJ/R\$ de 2005)	Intensidade elétrica (kJ/R\$ de 2005)	Consumo energético específico total (GJ/t)	Consumo específico de energia térmica (GJ/t)	Consumo específico de energia elétrica (GJ/t)
Alimentos e bebidas	14.545	13103	1.441	6,031	5,433	0,598
Cerâmica	51.870	47.769	4.101	4,946	4,555	0,391
Cimento	42.362	37.204	5.158	3,232	2,838	0,394
Extrativa mineral	7.980	5.704	2.276	0,105	0,075	0,030
Ferro ligas			0	65,277*	37,774*	27,503*
Fundições	12.682	6.256	6.426	7,013	3,459	3,553
Metais não ferrosos	35.271	15.790	19.481	97,06	43,70	53,91
Outras indústrias	1.398	476	923	-	-	-
Outros minerais não metálicos	15.467	15.274	193	6,477	6,394	0,083
Papel e celulose	12.986	10.838	2.147	22,918	19,128	3,789
Químico	7.819	5.840	1.979	9,671	7,223	2,447
Siderúrgico	35.660	32.806	2.854	23,126	21,276	1,851
Têxtil	2.048	924	1.123	29,314	13,154	16,160
Vidros	8.410	7.456	955	6,695	5,870	0,825

* Valor de 2004 , pois o setor não possui dados para 2005

Capítulo 4

Análise prospectiva dos setores industriais

As projeções para os setores industriais foram realizadas utilizando o modelo de desagregação estrutural, através de duas variantes, conforme descrito na seção 2.8. A primeira delas é o produto da intensidade energética pela participação no PIB e pelo PIB:

$$CE_i = \frac{CE_i}{VA_i} \cdot \frac{VA_i}{PIB} \cdot PIB \quad (4.1)$$

Multiplicando a intensidade energética pela produção física do setor no numerador e no denominador, tem-se a segunda variante do modelo de projeção:

$$CE_i = \frac{\frac{CE_i}{PF_i}}{\frac{VA_i}{PF_i}} \cdot \frac{VA_i}{PIB} \cdot PIB \quad (4.2)$$

A primeira variante envolve só grandezas econômicas, fora o próprio consumo de energia. Esta variante foi utilizada para as projeções básicas associadas aos diversos cenários de crescimento econômico.

A outra variante envolve indicadores como o consumo energético específico e o valor unitário setorial, além da participação no PIB e o próprio PIB. Esta variante mostrou-se mais

adequada à imposição de restrições técnico-econômicas nas cadeias produtivas; por isso ela foi utilizada para efetuar as projeções dos cenários de conservação de energia associados aos cenários de crescimento econômico.

Nos cenários de crescimento econômico com conservação de energia considera-se a adoção de políticas públicas que assegurem metas de consumos energéticos específicos, negociadas com as associações setoriais, inferiores às médias observadas no passado recente. Os valores adotados para estas metas correspondem a valores baixos de consumos específicos, já observados no histórico disponível.

4.1 - Setor de alimentos e bebidas

No setor de alimentos e bebidas as projeções de consumo energético foram realizadas para cenários de crescimento econômico baixo, médio e alto, correspondendo a taxas de crescimento do PIB de 3%, 4% e 5%, respectivamente. Para cada cenário de crescimento econômico, foi, também, proposto um cenário de conservação de energia, para o qual foram adotados, como metas, valores baixos de consumos energéticos específicos. No setor de alimentos e bebidas os consumos energéticos específicos adotados foram:

Consumo específico de energia térmica: 5,52 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 0,60 GJ/t

Os resultados obtidos nos cenários de crescimento econômico, com e sem conservação de energia, para as projeções de consumo energético e consumo elétrico estão apresentados nas Figuras 4.1 e 4.2, respectivamente.

O consumo energético do setor de alimentos e bebidas apresentou um forte crescimento entre 1995 e 2006. Em todos os cenários propostos esta tendência de crescimento do consumo energético se mantém no futuro. Contudo, no cenário de crescimento econômico alto, este crescimento é tão acentuado que pode ser considerado uma ruptura dos padrões detectados no

passado. Este fato se deve a tendência de crescimento da intensidade energética combinada com o crescimento da participação no PIB, e o alto crescimento do próprio PIB.

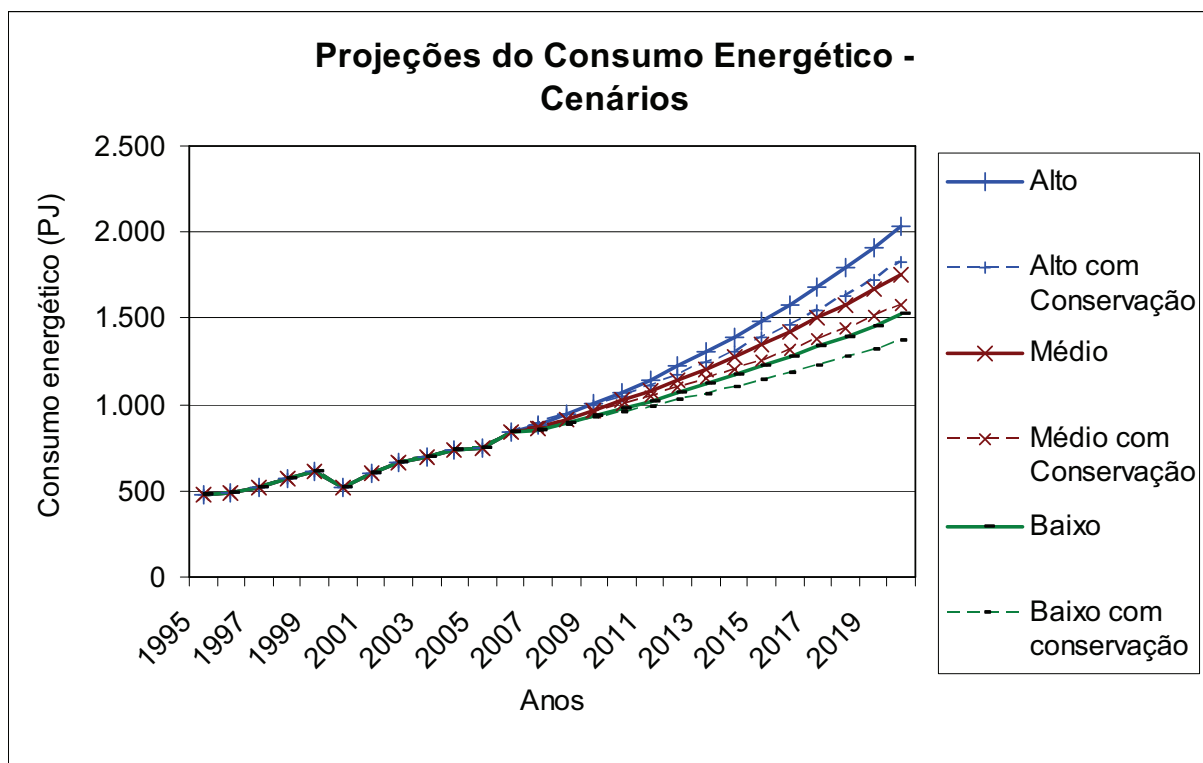


Figura 4.1: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de alimentos e bebidas

No cenário de crescimento econômico médio, considerado como cenário de referência, o consumo de eletricidade aumenta 109% de 2006 a 2020, de 77 PJ para 161 PJ. O consumo energético total também aumenta 109% durante este período, de 843 PJ a 1758 PJ.

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo de eletricidade aumenta 87% de 2006 a 2020, de 77 PJ a 145 PJ. O consumo energético total também aumenta 87% neste período, de 843 PJ para 1579 PJ.

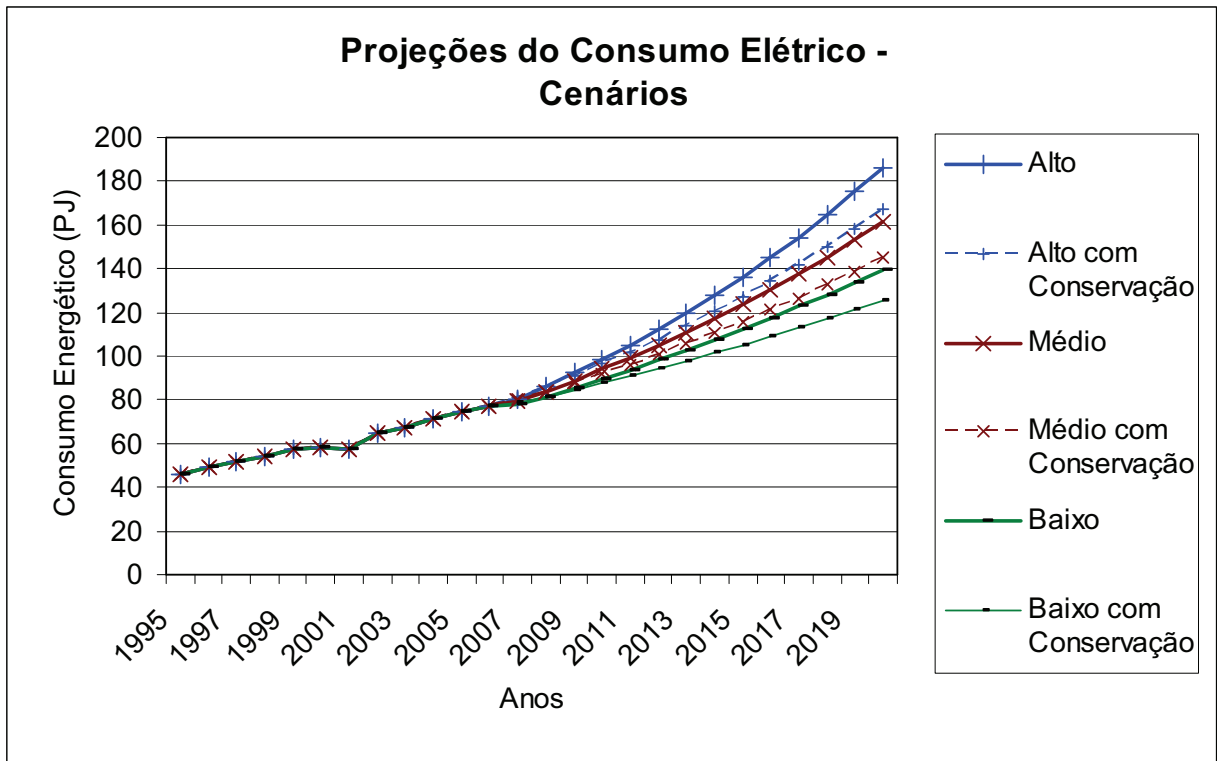


Figura 4.2: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de alimentos e bebidas

No setor de alimentos e bebidas, os dados disponíveis tornam as projeções dos cenários de crescimento econômico sem conservação de energia mais confiáveis. Os cenários de crescimento econômico com conservação de energia utilizam séries de consumos energéticos específicos como balizadores. No entanto, estas séries, para este setor, apresentam fortes tendências de crescimento. Supor que este setor consiga praticar valores baixos destes consumos energéticos específicos no curto ou no médio prazo representaria uma forte ruptura das tendências observadas no histórico analisado.

4.2 - Setor de cerâmica

Nos cenários de conservação de energia associados aos cenários de crescimento econômico do setor de cerâmica foram adotados os seguintes consumos energéticos específicos como metas:

Consumo específico de energia térmica: 4.57 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 0.39 GJ/t

Os resultados obtidos nos cenários de crescimento econômico e de conservação de energia para as projeções de consumo energético e consumo elétrico estão apresentados nas Figuras 4.3 e 4.4, respectivamente.

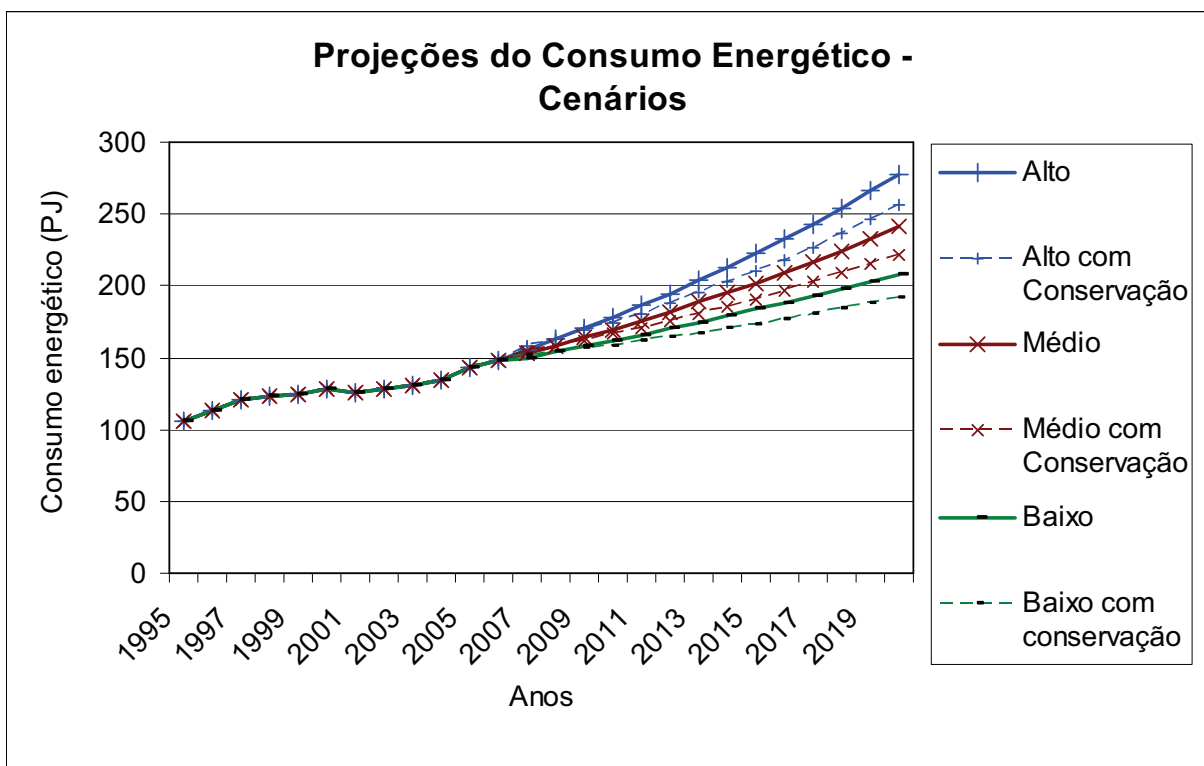


Figura 4.3: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de cerâmica

No cenário de crescimento econômico médio, o consumo energético total aumenta 63% entre 2006 e 2020, de 148 PJ para 241 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 64% neste intervalo de tempo, de 12 PJ para 19 PJ.

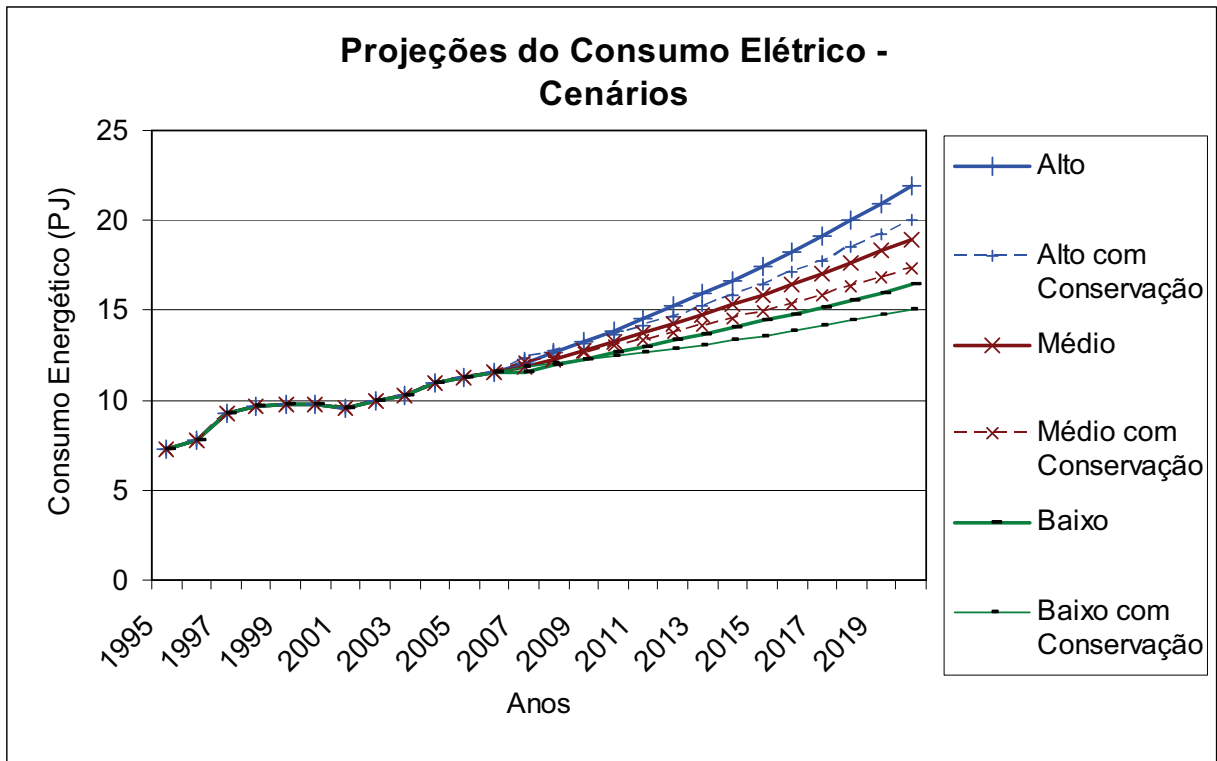


Figura 4.4: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de cerâmica

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo energético total aumenta 50% neste período, de 148 PJ para 222 PJ. O consumo de eletricidade também aumenta 50%, de 2006 a 2020, de 12 PJ para 17 PJ.

No setor de cerâmica, nos cenários de crescimento econômico sem conservação de energia, o crescimento do consumo energético nos anos projetados mostra-se bem acima do crescimento tendencial, por conta do forte crescimento da intensidade energética.

4.3 - Setor de cimento

As projeções de consumo energético foram realizadas para os cenários de crescimento econômico baixo, médio e alto, e para cada um destes cenários foi proposto um cenário alternativo de conservação de energia, nos quais foram adotados valores baixos de consumos

energéticos específicos como metas. No setor de cimento, os consumos energéticos específicos adotados foram:

Consumo específico de energia térmica: 3.04 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 0.41 GJ/t

O consumo energético do setor de cimento apresentou uma forte queda em 2004. No entanto, essa queda foi pontual, pois nos anos subsequentes o consumo energético deste setor retomou o crescimento. Os resultados obtidos nos cenários de crescimento econômico sem e com conservação de energia para as projeções de consumo energético e consumo elétrico são apresentados nas Figuras 4.5 e 4.6, respectivamente.

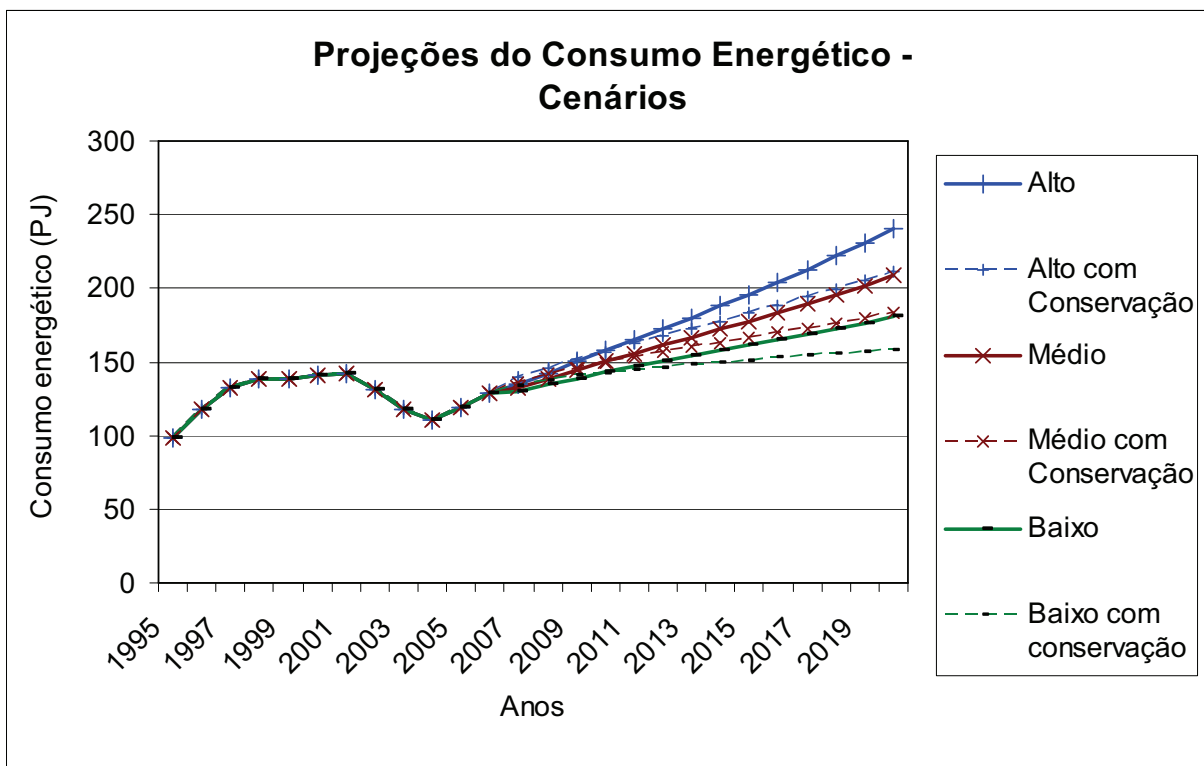


Figura 4.5: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de cimento

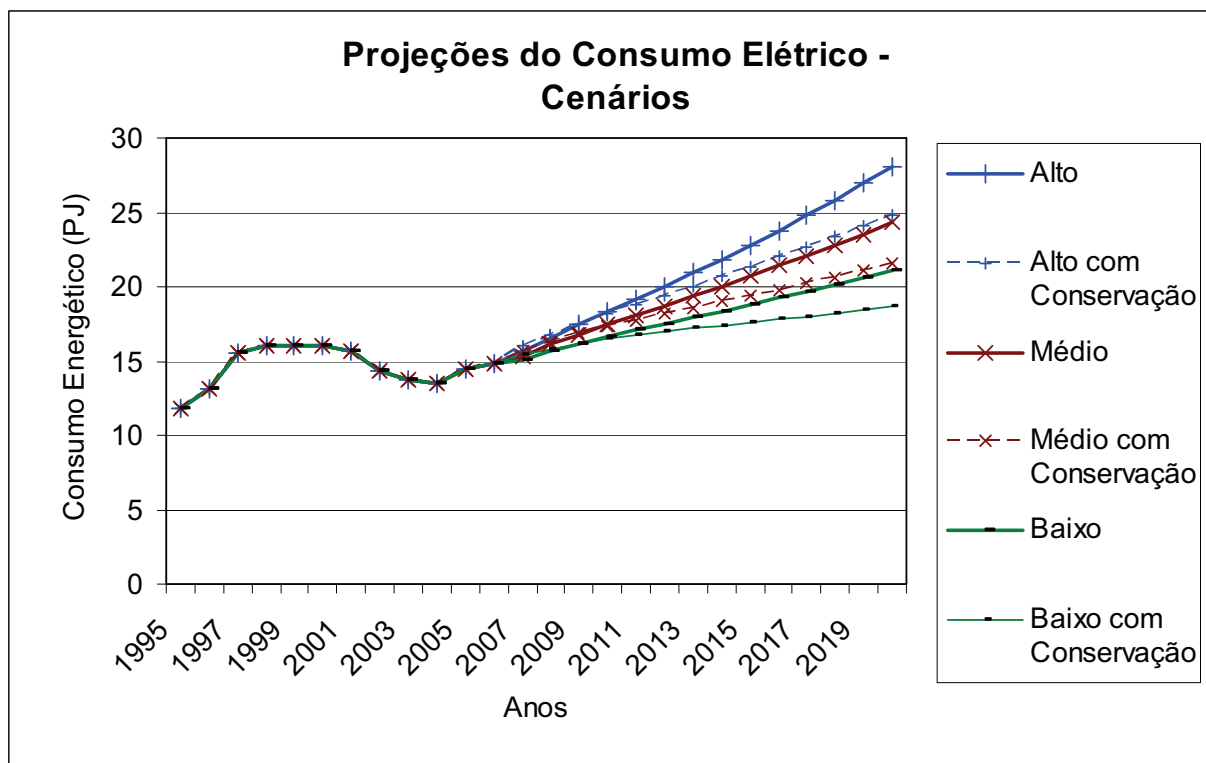


Figura 4.6: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de cimento

Os cenários de crescimento econômico com conservação de energia utilizam as séries de consumos energéticos específicos como balizadores, que apresentam fortes oscilações. Este fato explica as consideráveis diferenças dos resultados das projeções de consumo energético entre os cenários de crescimento econômico sem e com conservação de energia.

4.4 - Setor da indústria extrativa mineral

Na indústria extrativa mineral as projeções de consumo energético foram realizadas para cenários de crescimento econômico baixo, médio e alto, com taxas de crescimento do PIB de 3%, 4% e 5%, respectivamente. Para cada cenário de crescimento econômico foi também proposto um cenário de conservação de energia, com valores baixos de consumos energéticos específicos como metas. Na indústria extrativa mineral os consumos energéticos específicos adotados foram:

Consumo específico de energia térmica: 0.076 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 0.034 GJ/t

Os resultados obtidos para as projeções de consumo energético e de consumo elétrico nos cenários de crescimento econômico e de conservação de energia são apresentados nas Figuras 4.7 e 4.8, respectivamente.

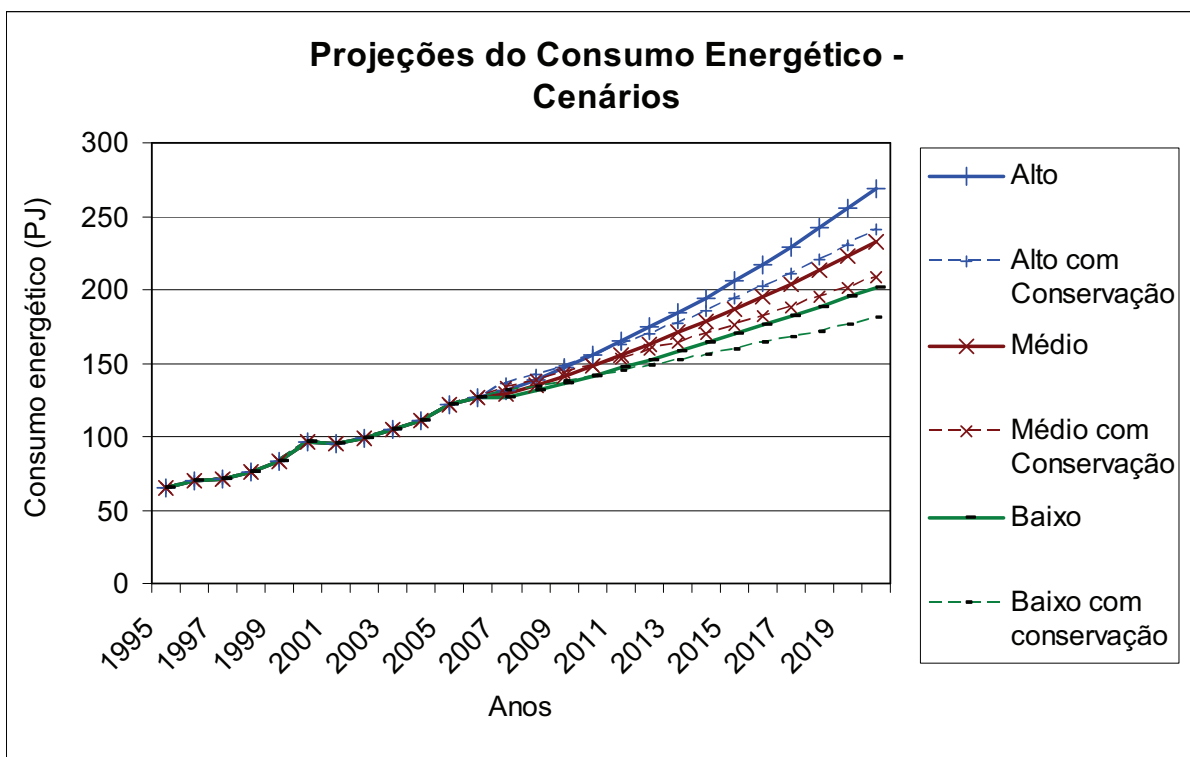


Figura 4.7: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor da indústria extrativa mineral

No cenário de crescimento econômico médio, considerado como cenário de referência, o consumo de eletricidade aumenta 85% de 2006 a 2020, de 36 PJ para 67 PJ. O consumo energético total também aumenta 85% neste período, de 126 PJ para 233 PJ.

No cenário de crescimento econômico com médio com conservação de energia, o consumo de eletricidade aumenta 65% de 2006 a 2020, de 36 PJ para 60 PJ. O consumo energético total também aumenta 65% neste intervalo de tempo, de 126 PJ para 208 PJ.

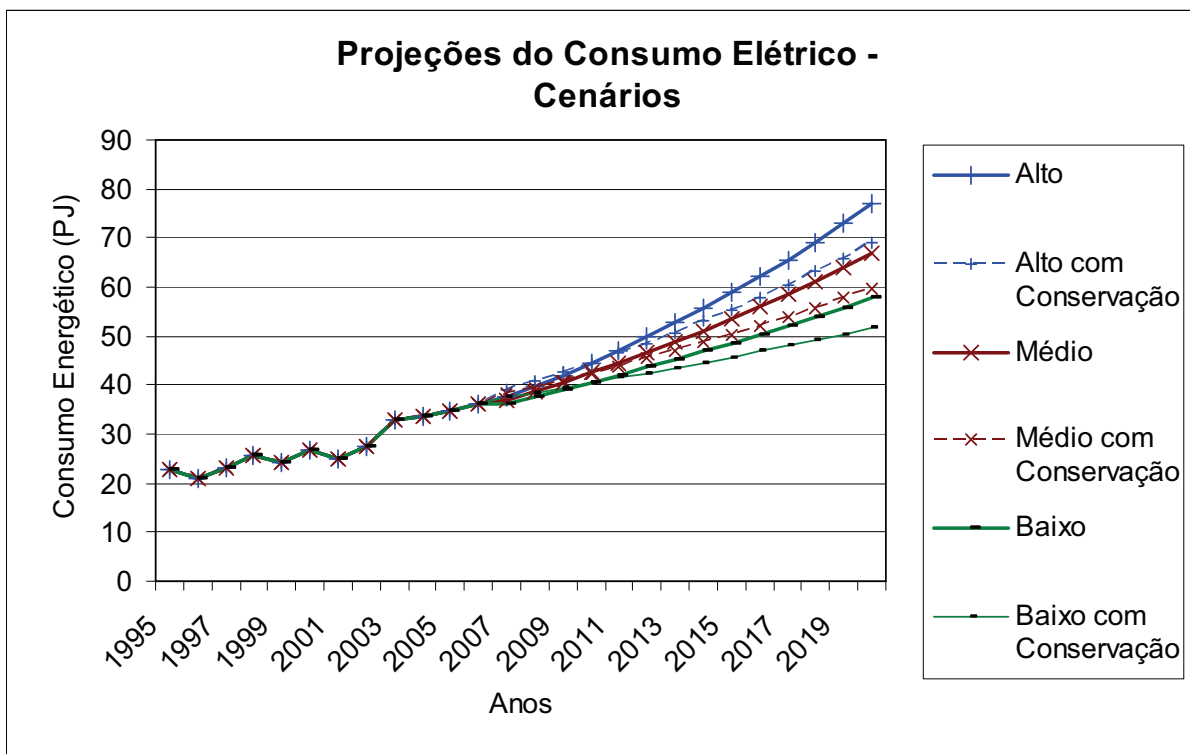


Figura 4.8: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor da indústria extrativa mineral

Na indústria extrativa mineral, tanto a intensidade energética como o consumo específico apresentam tendência de crescimento, sinalizando um forte crescimento no consumo energético. Portanto, as projeções dos cenários de crescimento econômico com e sem conservação de energia explicam bem o comportamento deste setor.

4.5 – Setor de ferro ligas

A projeção do consumo energético no setor de ferro ligas foi realizada utilizando a tendência detectada em sua série história. Utilizou-se uma regressão logarítmica para o ajuste dos

dados históricos disponíveis; assumiu-se, por conseguinte, um crescimento energético moderado neste setor.

O consumo energético total e o consumo de eletricidade apresentaram, ambos, crescimento de 16% de 2006 a 2020. O consumo de eletricidade passou de 28 PJ para 32 PJ, enquanto o consumo energético total aumentou de 68 PJ para 78PJ (vide Figura 4.9).

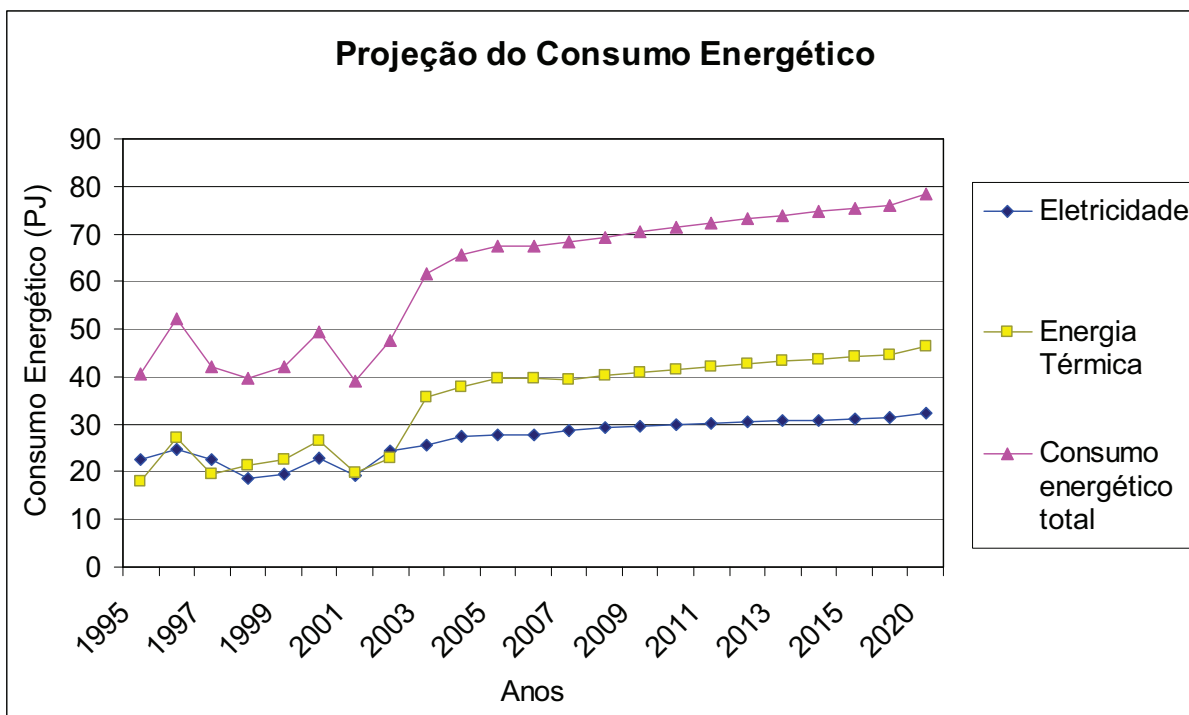


Figura 4.9: Projeção dos consumos de energia térmica, elétrica e total, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de ferro ligas

As variantes 1 (Eq 4.1) e 2 (Eq. 4.2) do modelo de desagregação estrutural não foram aqui aplicados, pois ambos necessitam de dados referentes ao valor agregado, que são desconhecidos para este setor. A ausência de dados econômicos restringe a aplicabilidade das projeções do setor de ferro ligas.

4.6 - Setor de fundições

As projeções de consumo energético foram realizadas para cenários de crescimento econômico baixo, médio e alto, e, para cada um destes cenários, foi proposto um cenário alternativo de conservação de energia, com valores baixos adotados como metas para os consumos energéticos específicos. Para o setor de fundições, os consumos energéticos específicos adotados foram:

Consumo específico de energia térmica: 3,567 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 3,598 GJ/t

Os resultados obtidos para as projeções de consumo energético e consumo elétrico nos cenários de crescimento econômico sem e com conservação de energia estão apresentados nas Figuras 4.10 e 4.11, respectivamente.

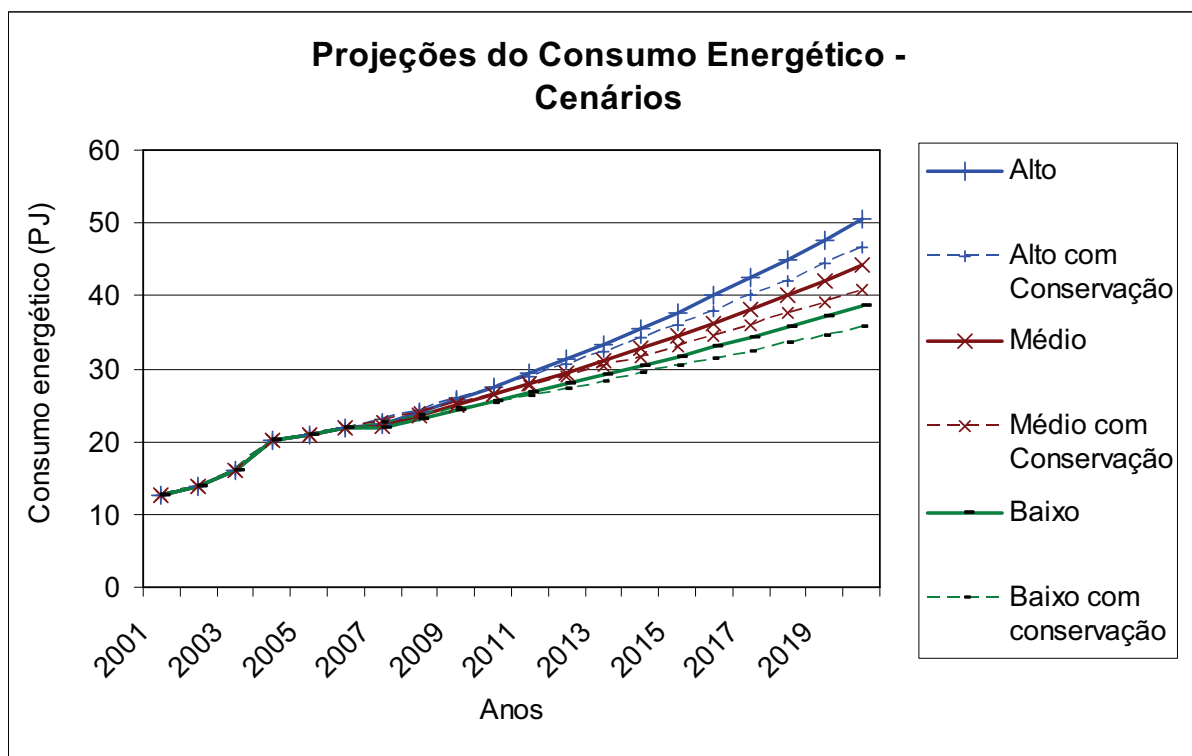


Figura 4.10: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de fundições

No cenário de crescimento econômico médio, o consumo energético total aumenta 112% entre 2006 e 2020, de 21 PJ para 44 PJ. O consumo de eletricidade também aumenta 112% neste período, de 10,5 PJ para 22 PJ,.

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo energético total aumenta 96% de 2006 a 2020, de 21 PJ para 41 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 33% no período, de 10,5 PJ para 21 PJ.

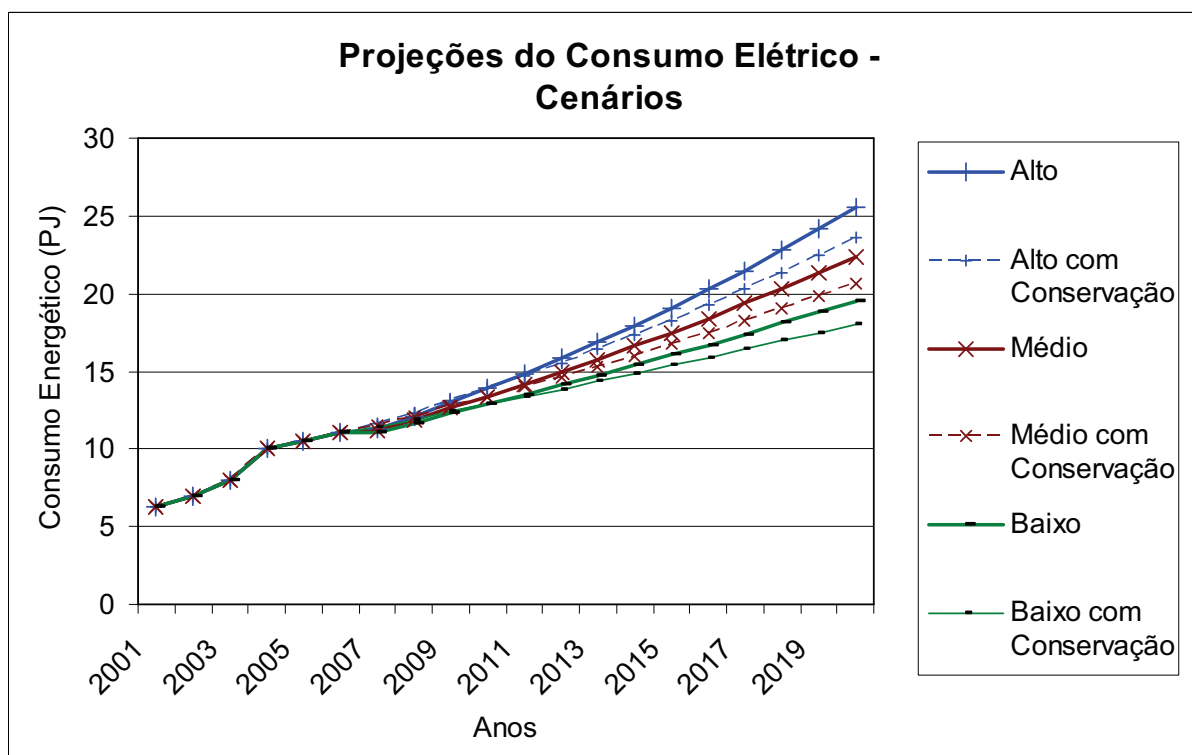


Figura 4.11: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de fundições

Conforme indicado na análise retrospectiva realizada na seção 3.7.1, tanto o consumo específico quanto a intensidade energética oscilam bastante em torno de médias aproximadamente constantes. Ambas as séries de intensidade energética e de consumo específico foram elaboradas a partir de poucos pontos, o que pode comprometer a confiabilidade das projeções.

4.7- Setor de metais não ferrosos

No setor de metais não ferrosos, para cada cenário de crescimento econômico foi proposto um cenário de conservação de energia, para os quais se adotaram os seguintes consumos energéticos específicos como metas:

Consumo específico de energia térmica: 43.5 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 52 GJ/t

No setor de metais não ferrosos, as projeções dos cenários de crescimento econômico médio sem conservação de energia mantiveram a tendência detectada em sua série histórica de consumos energéticos, conforme se pode visualizar nas Figuras 4.12 e 4.13.

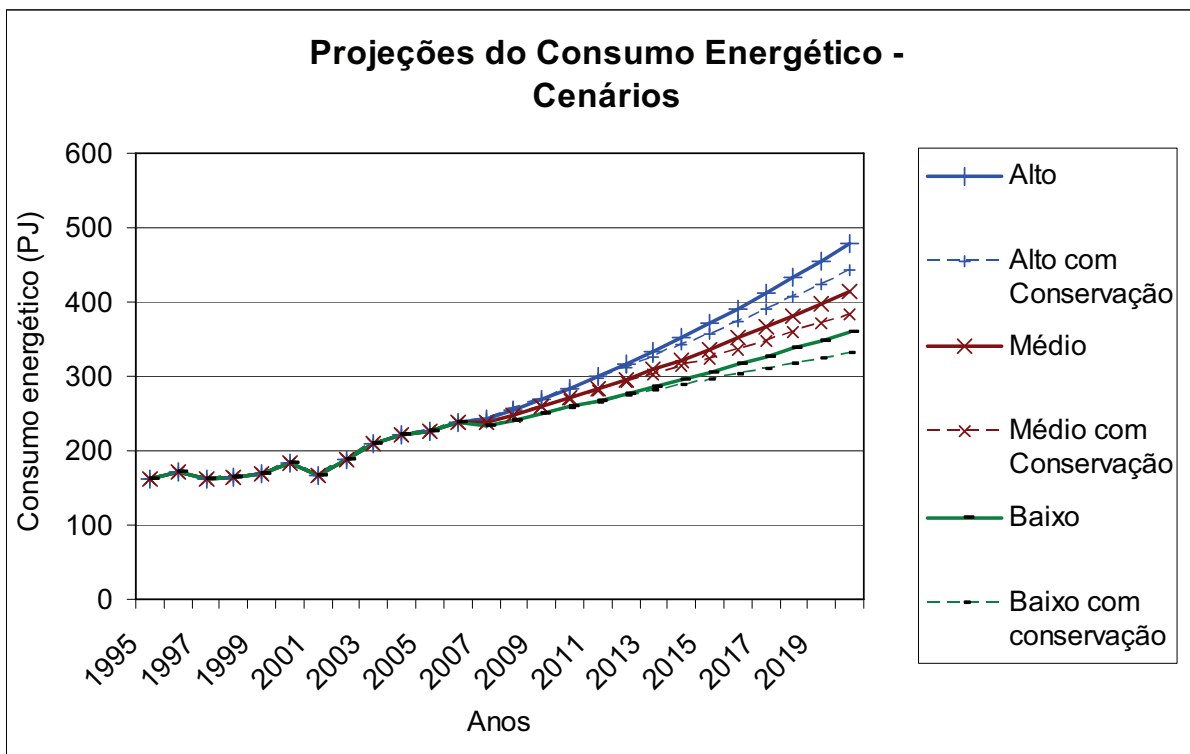


Figura 4.12: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de metais não ferrosos

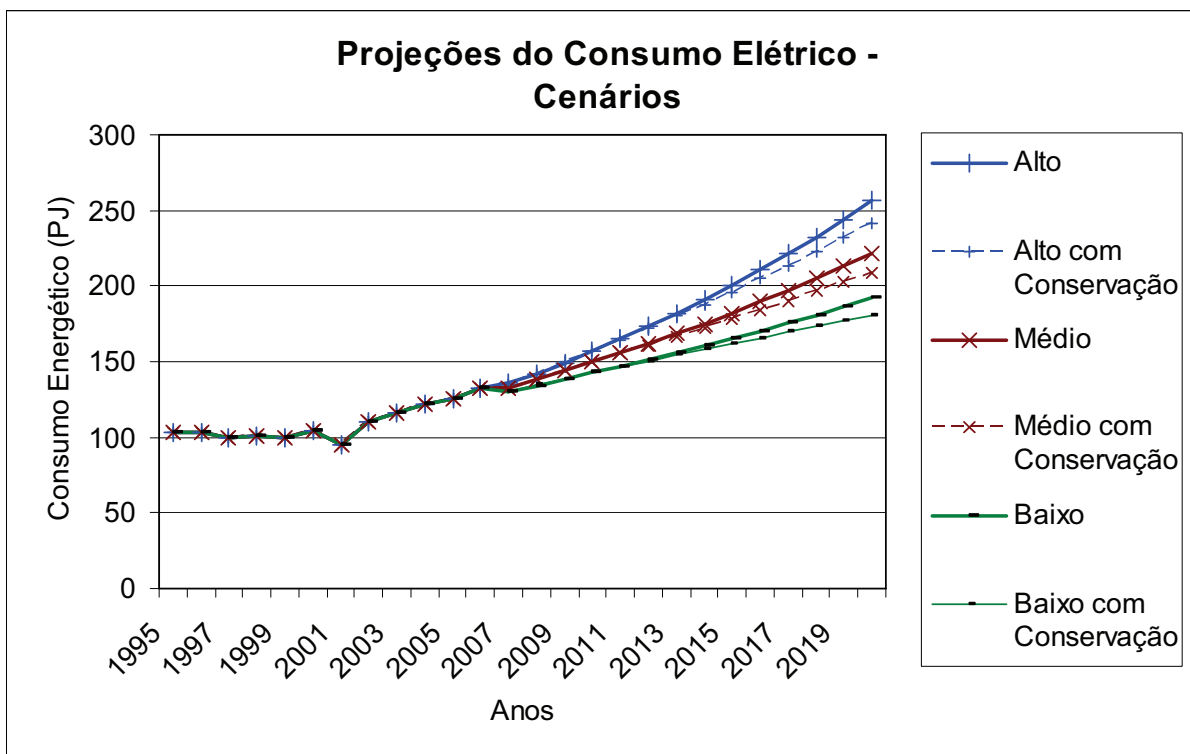


Figura 4.13: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de metais não ferrosos

No cenário de crescimento econômico médio, o consumo energético aumenta 74 % de 2006 a 2020, de 238 PJ para 415 PJ. O consumo de eletricidade, por sua vez, aumenta 67% neste período, de 133 PJ para 222 PJ.

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo energético total aumenta 61% de 2006 a 2020, de 238 PJ para 384 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 35% no período, de 133 PJ para 209 PJ.

Analisando os comportamentos de alguns indicadores deste setor, conforme realizado na seção 3.8.1, nota-se que o consumo específico apresenta uma tendência crescente e a intensidade energética o contrário. A tendência de redução da intensidade energética, no entanto, foi superada pelo forte crescimento da participação do setor de metais não ferrosos no PIB, juntamente com o

crescimento do PIB. Este fato resultou em projeções crescentes para o consumo energético em todos os cenários.

4.8 - Outras indústrias

O setor aqui denominado “outras indústrias” é composto por uma diversidade de segmentos industriais. Devido a esta heterogeneidade não foi possível determinar consumos energéticos específicos representativos de todo o setor, e, portanto, não foi possível trabalhar com cenários de conservação de energia, que utilizam a variante 2 (Eq. 4.2) do modelo de desagregação estrutural. As projeções, apresentadas nas Figuras 4.14 e 4.15, foram feitas, então, só para os cenários de crescimento econômico sem conservação, utilizando a variante 1 do modelo de projeção.

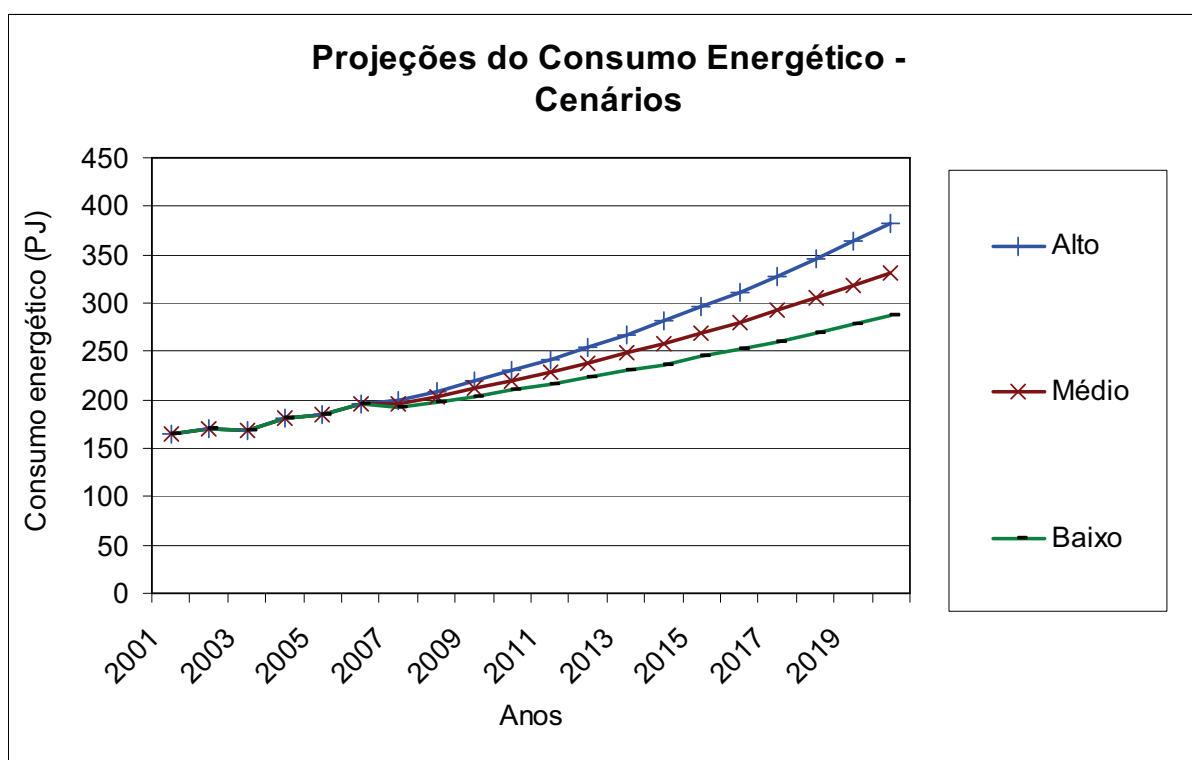


Figura 4.14: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para outras indústrias

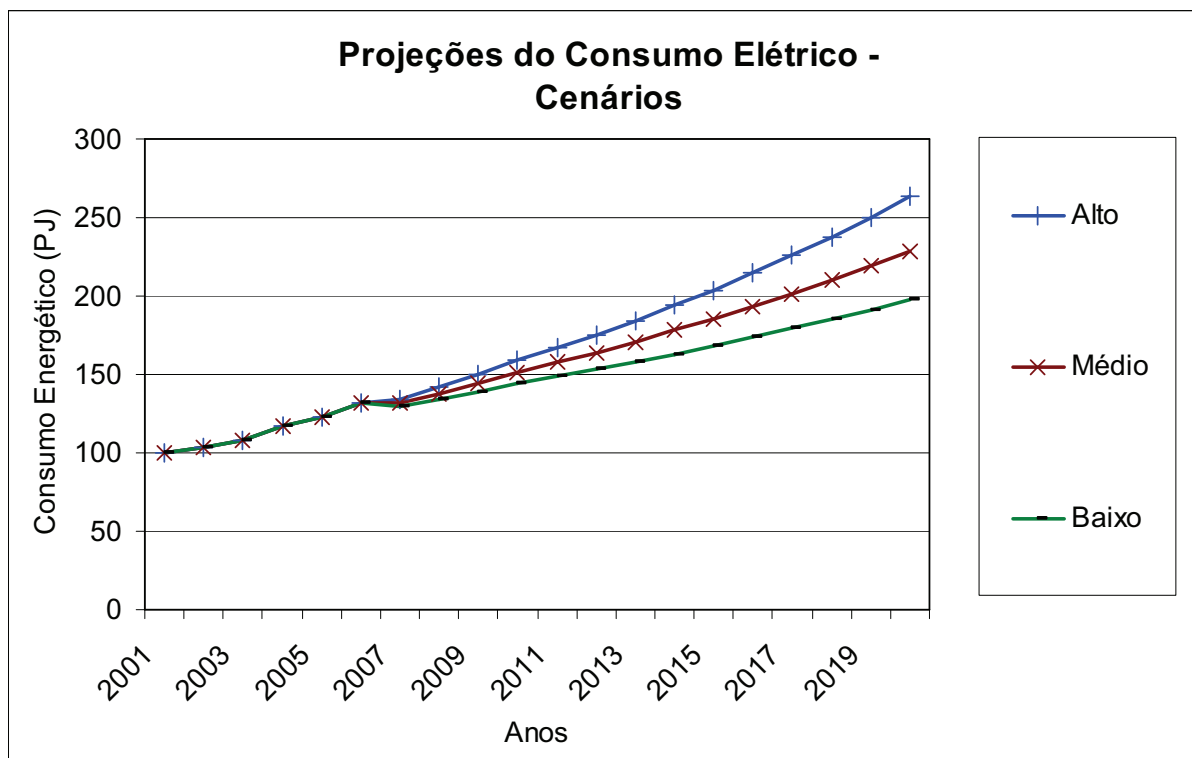


Figura 4.15: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para outras indústrias.

Nos diversos cenários abordados, o consumo energético projetado apresenta crescimentos significativos. No cenário de crescimento econômico médio, considerado como cenário de referência, o consumo energético total aumenta 70% de 2006 a 2020, de 196 PJ para 331 PJ. O consumo de eletricidade neste setor, que já é consideravelmente elevado, aumenta 74% neste período, de 131 PJ a 228 PJ.

A intensidade de energia deste setor mantém-se decrescente no período analisado. Entretanto, a intensidade de energia elétrica tende a crescer, conforme apresentado na seção 3.9.1.

De acordo com as projeções realizadas, o segmento de “outras indústrias” continuará bastante dependente da eletricidade. A cogeração de energia elétrica nos processos industriais pode diminuir a vulnerabilidade do setor quanto ao suprimento de eletricidade e aos seus custos.

4.9 - Setor de outros minerais não metálicos

No setor de outros minerais não metálicos, para cada cenário de crescimento econômico foi proposto um cenário de conservação de energia, com os seguintes consumos energéticos específicos adotados como metas:

Consumo específico de energia térmica: 3,97 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 0,056 GJ/t

Os resultados das projeções estão ilustrados nas Figuras 4.16 e 4.17.

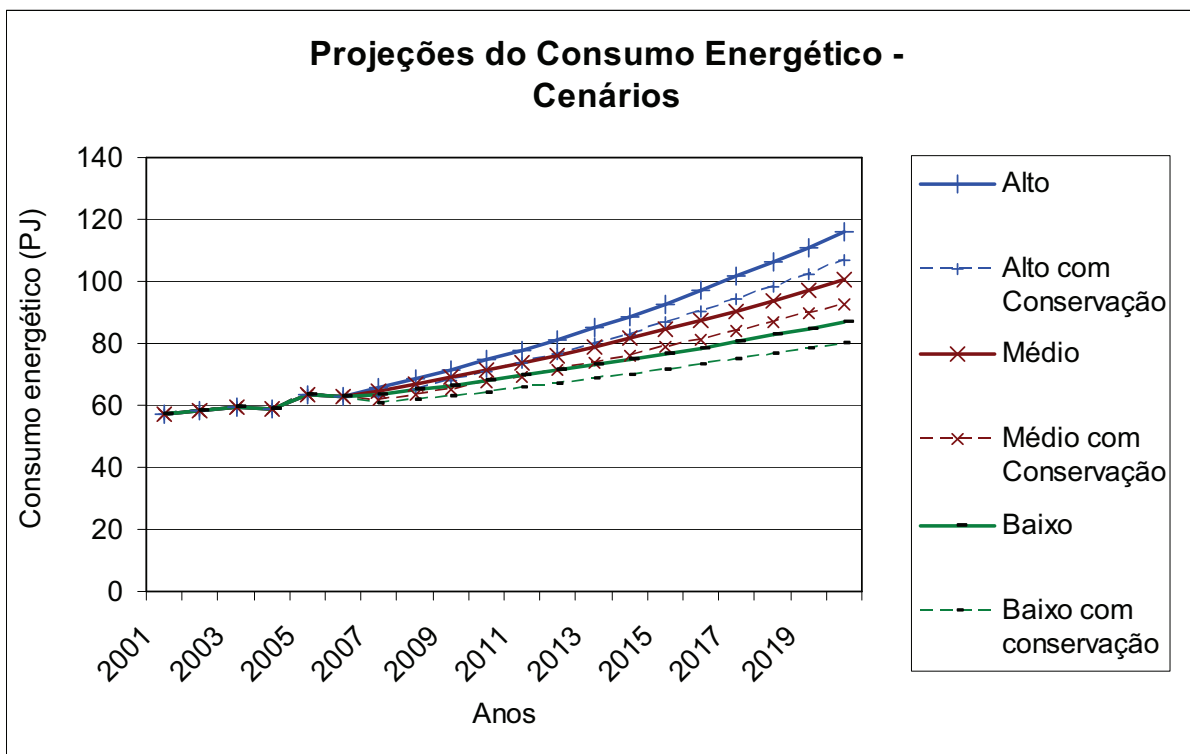


Figura 4.16: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de outros minerais não metálicos

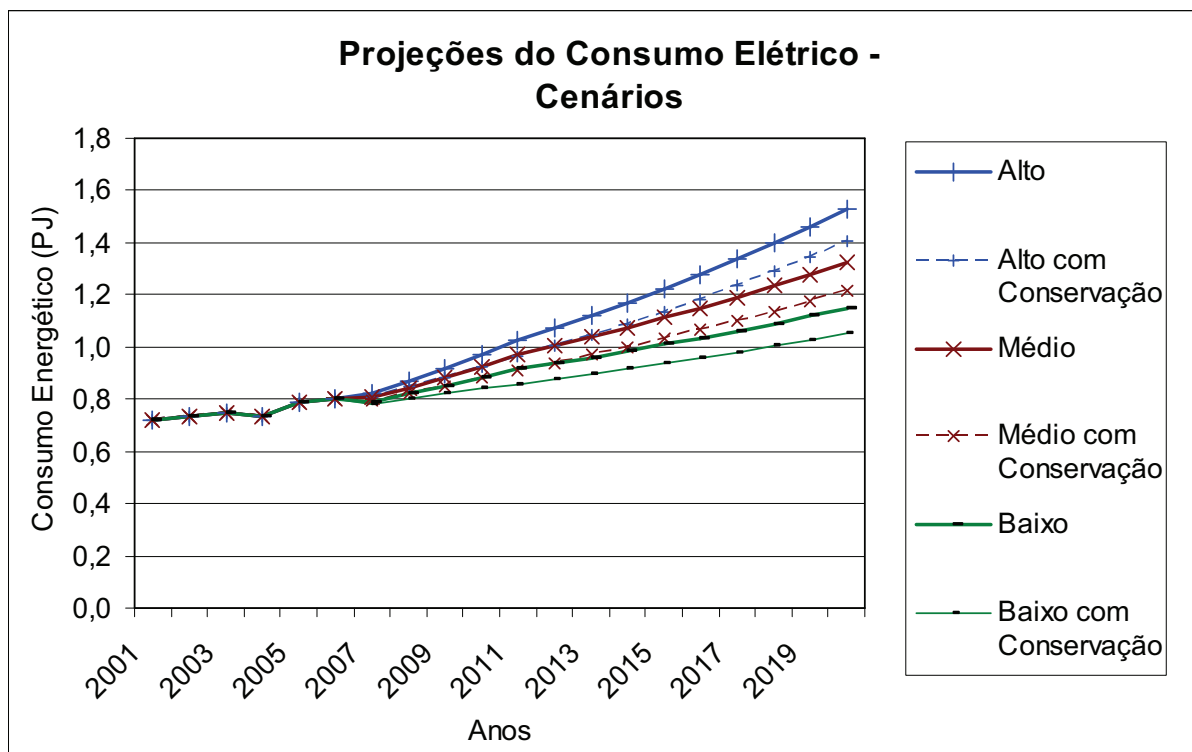


Figura 4.17: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de outros minerais não metálicos

No cenário de crescimento econômico médio, considerado como cenário de referência, o consumo energético aumenta 61% de 2006 a 2020, de 63 PJ para 101 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 65% neste período, de 0,8 PJ para 1,3 PJ.

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo de eletricidade aumenta 51% de 2006 a 2020, de 0,8 PJ para 1,2 PJ. O consumo energético total, por sua vez, aumenta 48% neste cenário, no período em questão, de 63 PJ para 92,7 PJ.

Os consumos específicos do setor de outros minerais não metálicos apresentam fortes oscilações, fato que pode gerar distorções nas projeções dos cenários de crescimento econômico com conservação de energia.

No setor de outros minerais não metálicos, as séries de intensidade energética e de consumo específico foram elaboradas a partir de poucos valores históricos, o que limita a confiabilidade das projeções mais a longo prazo. Além disso, ambas as séries apresentam oscilações. Contudo, tanto a intensidade energética quanto o consumo específico apresentam tendência de decréscimo, o que possibilitou que as projeções de todos os cenários não se afastassem muito da tendência detectada no consumo energético.

4.10 - Setor de papel e celulose

No setor de papel e celulose as projeções de consumo energético foram realizadas para os cenários de crescimento econômico baixo, médio e alto, com taxas de crescimento do PIB de 3%, 4% e 5%, respectivamente. Para cada cenário de crescimento econômico foi proposto, também, um cenário de conservação de energia, com baixos consumos energéticos específicos fixados como metas. No setor de papel e celulose os consumos energéticos específicos adotados foram:

Consumo específico de energia térmica: 20,29 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 3,80 GJ/t

As projeções de consumo energético e de consumo elétrico são apresentadas nas Figuras 4.18 e 4.19, respectivamente, para os cenários de crescimento econômico com e sem conservação de energia.

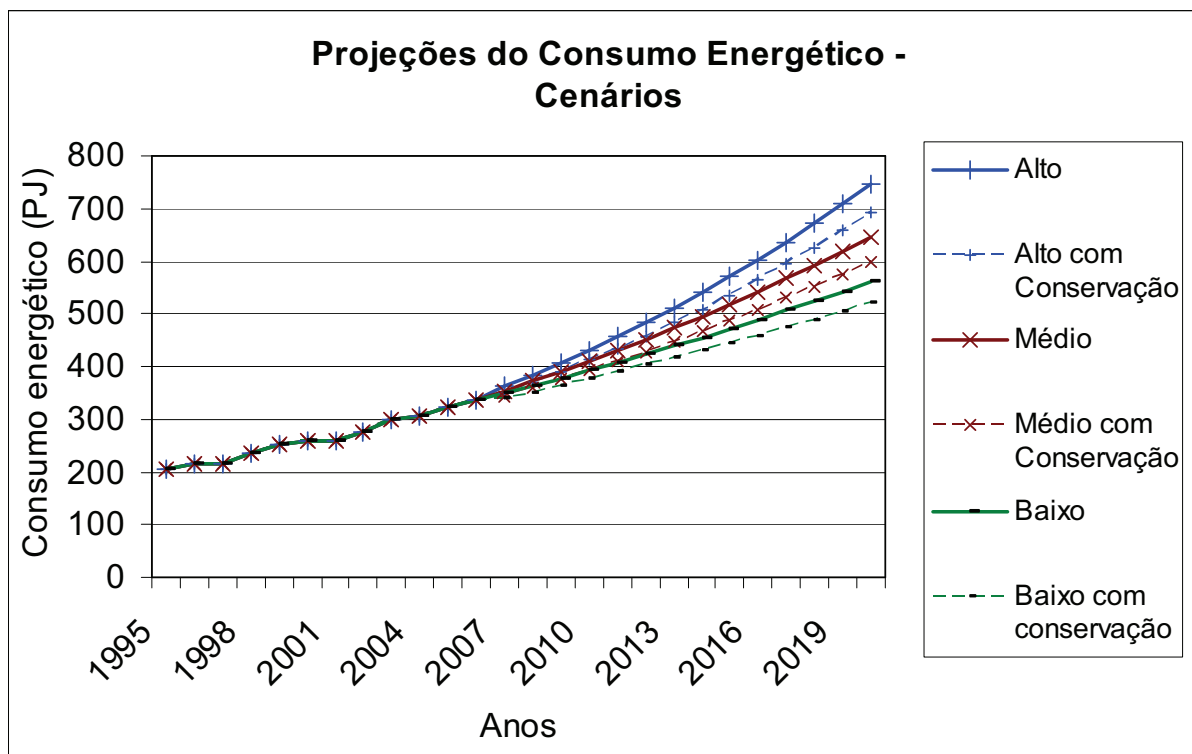


Figura 4.18: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de papel e celulose.

No cenário de crescimento econômico médio, considerado como cenário de referência, o consumo energético aumenta 93% entre 2006 e 2020, de 336 PJ para 647 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 80% neste período, de 56 PJ para 100 PJ,.

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo energético total aumenta 79% de 2006 a 2020, de 336 PJ para 600 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 70% neste intervalo de tempo, de 56 PJ para 95 PJ.

No setor de papel e celulose, tanto a intensidade energética quanto o consumo específico apresentaram grandes oscilações entre 1995 e 2006. Contudo, ambos os indicadores apresentaram uma tendência de redução.

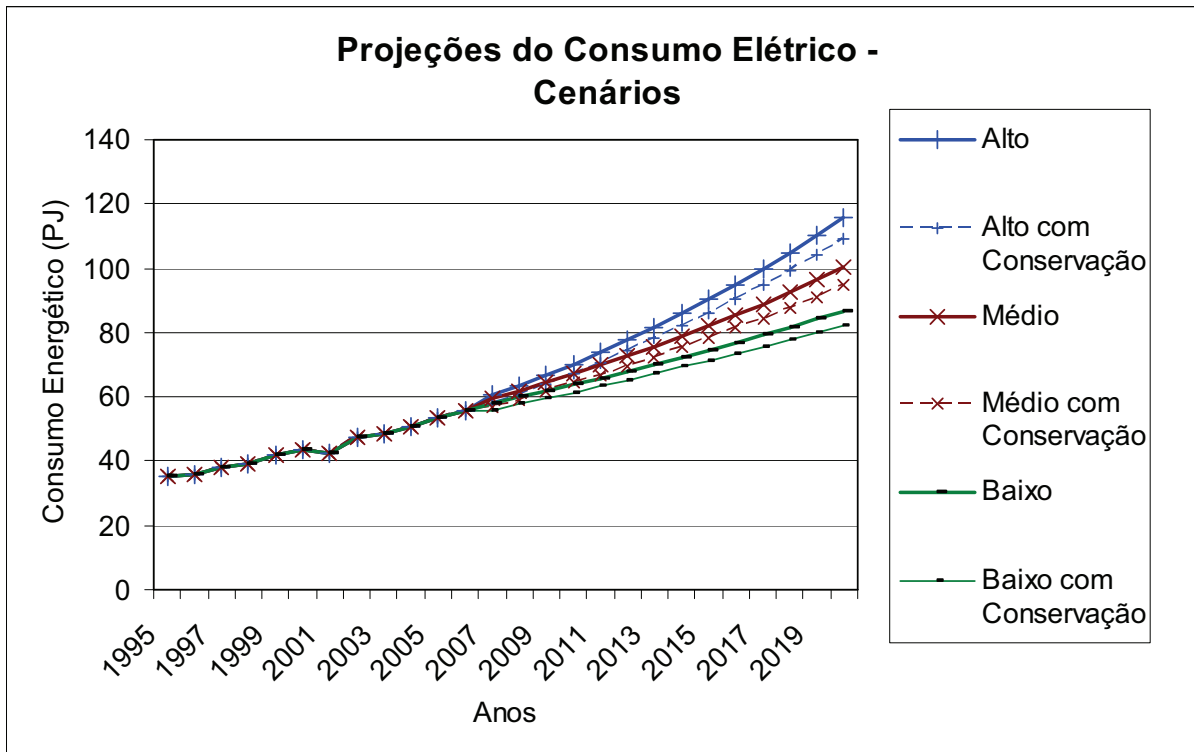


Figura 4.19: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor de papel e celulose.

4.11 - Setor químico

As projeções de consumo energético foram realizadas para cenários de crescimento econômico baixo, médio e alto, e, para cada um destes cenários, foi proposto um cenário alternativo de conservação de energia, com consumos energéticos específicos baixos como metas. No setor químico os consumos específicos adotados foram:

Consumo específico de energia térmica: 7,51 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 2,46 GJ/t

Os resultados obtidos para as projeções de consumo energético e consumo elétrico são apresentados nas Figuras 4.20 e 4.21, respectivamente, para os cenários de crescimento econômico sem e com conservação de energia.

As projeções do consumo energético do setor químico apresentam forte crescimento nos cenários de crescimento econômico com e sem conservação de energia, acima da tendência de crescimento detectada em sua série histórica. Este comportamento se explica pelo alto crescimento da participação do setor químico no PIB. Além disto, conforme discutido na seção 3.12.5, as recentes descobertas de reservatórios brasileiros de petróleo e gás na camada de pré-sal tende a impulsionar a indústria química, provocando uma ruptura nos padrões de crescimento do setor.

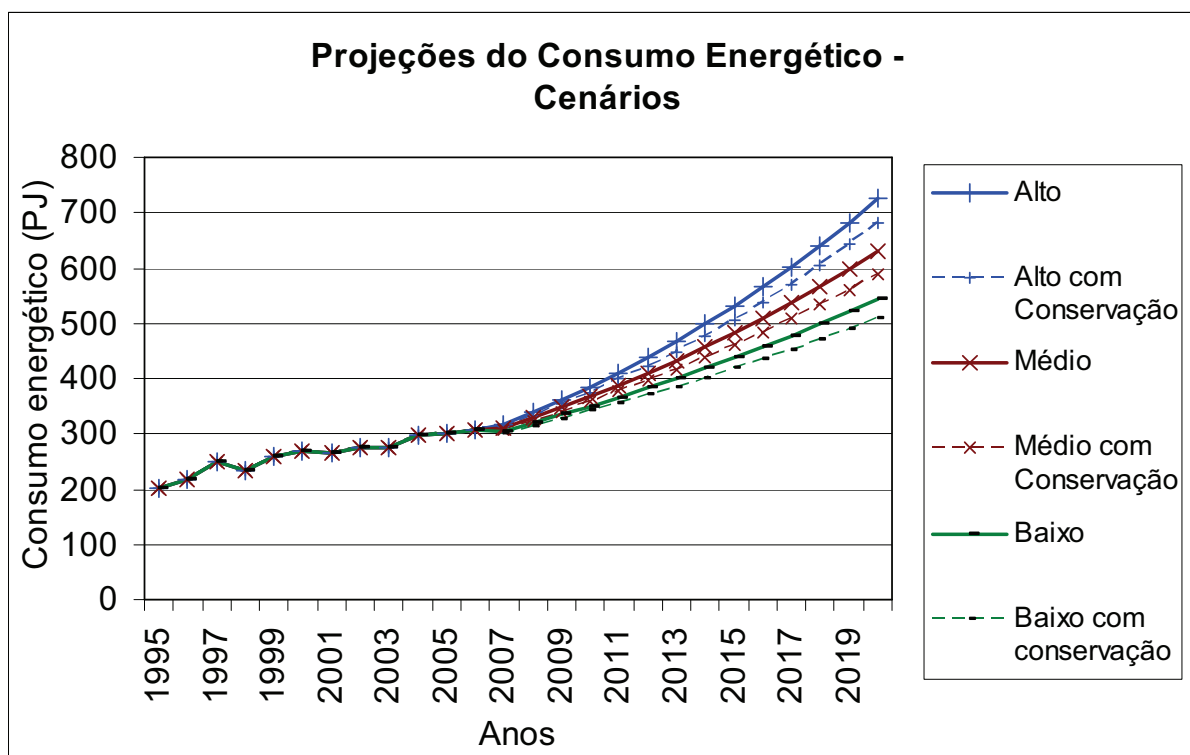


Figura 4.20: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor químico

No cenário de crescimento econômico médio, considerado como cenário de referência, o consumo energético aumenta 104% entre 2006 e 2020, de 308 PJ para 630 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 112% neste período, de 79 PJ a 167 PJ,.

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo energético total aumenta 91% neste intervalo de tempo, de 308 PJ para 590 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 92% no período, de 79 PJ para 151 PJ.

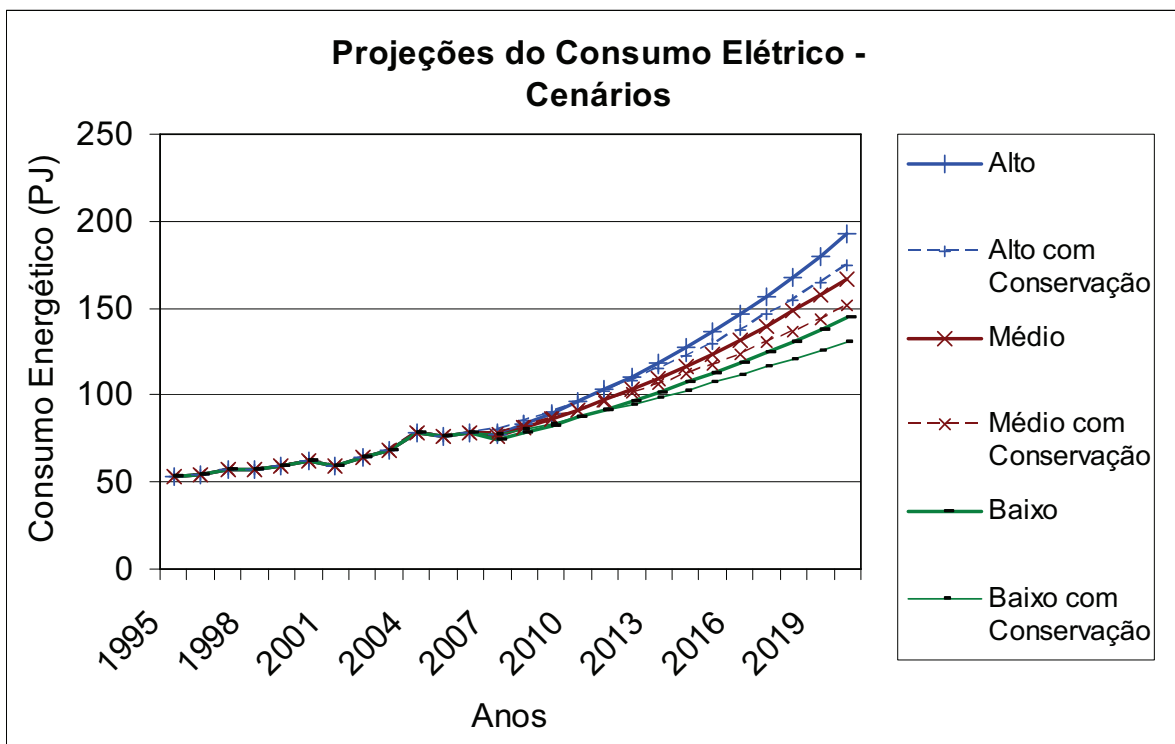


Figura 4.21: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor químico.

No setor químico, as intensidades energéticas e os consumos específicos apresentam oscilações entre 1995 e 2006, o que causa mais incertezas nas projeções a longo prazo.

4.12 - Setor siderúrgico

No setor siderúrgico, para cada cenário de crescimento econômico foi proposto um cenário de conservação de energia, com os seguintes consumos energéticos específicos adotados como metas:

Consumo específico de energia térmica: 20,59 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 1,93 GJ/t

O consumo energético do setor siderúrgico apresentou uma forte queda em 2006, que não deve se manter nos anos subseqüentes. Os resultados obtidos para as projeções de consumo energético e de consumo elétrico do setor siderúrgico são apresentados nas Figuras 4.22 e 4.23, respectivamente, para os cenários de crescimento econômico com e sem conservação de energia.

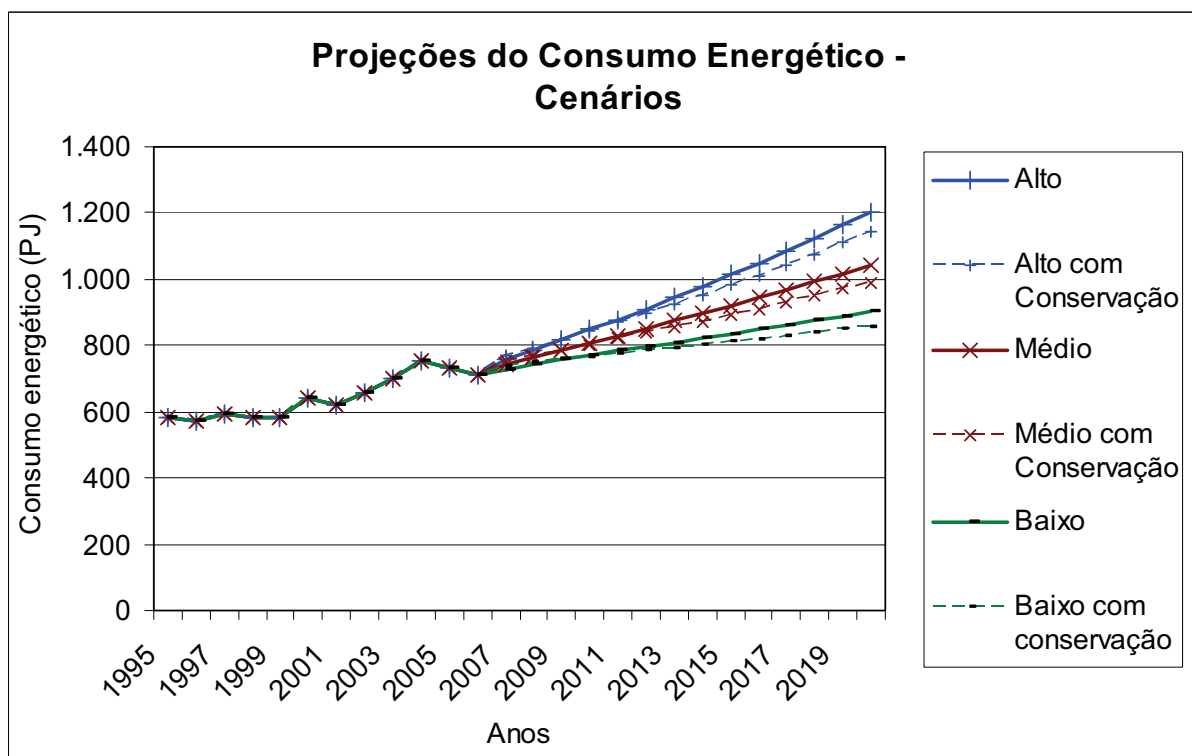


Figura 4.22: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor siderúrgico

No cenário de crescimento econômico médio, o consumo energético total aumenta 47% entre 2006 e 2020, de 711 PJ a 1043 PJ. O consumo de eletricidade também aumenta 47% no mesmo período, de 61 PJ para 89 PJ.

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo energético total aumenta 39% de 2006 a 2020, de 711 PJ para 991 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 40% no período, de 61 PJ para 76 PJ.

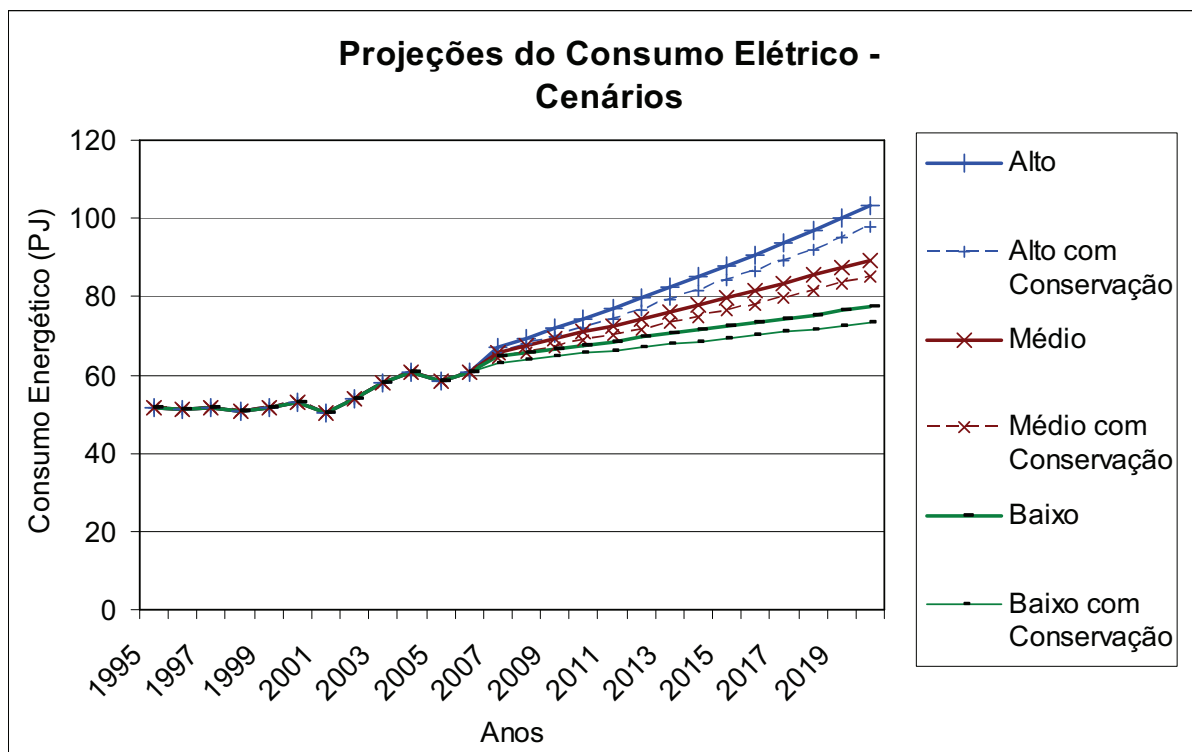


Figura 4.23: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor siderúrgico

No setor siderúrgico, enquanto a intensidade energética apresenta tendência de forte redução, o consumo específico oscila e apresenta leve tendência de crescimento. Mesmo com tendência de redução, a intensidade energética do setor siderúrgico é bastante elevada, o que amplifica as variações no consumo energético para diferentes taxas de crescimento no setor. Isto é, a alta intensidade energética amplia o leque das projeções de consumo energético para os cenários de crescimento econômico alto, médio e baixo.

4.13 - Setor têxtil

No setor têxtil, para cada cenário de crescimento econômico foi proposto um cenário de conservação de energia, com os seguintes consumos energéticos específicos adotados como metas:

Consumo específico de energia térmica: 13,46 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 16,7 GJ/t

Em todos os cenários de crescimento econômico do setor têxtil, o crescimento do consumo energético apresenta-se acima da tendência de crescimento detectada em sua série histórica (Figuras 4.24 e 4.25). Este fato se deve ao grande crescimento da intensidade energética do setor, que, por hipótese, tende a se manter no futuro.

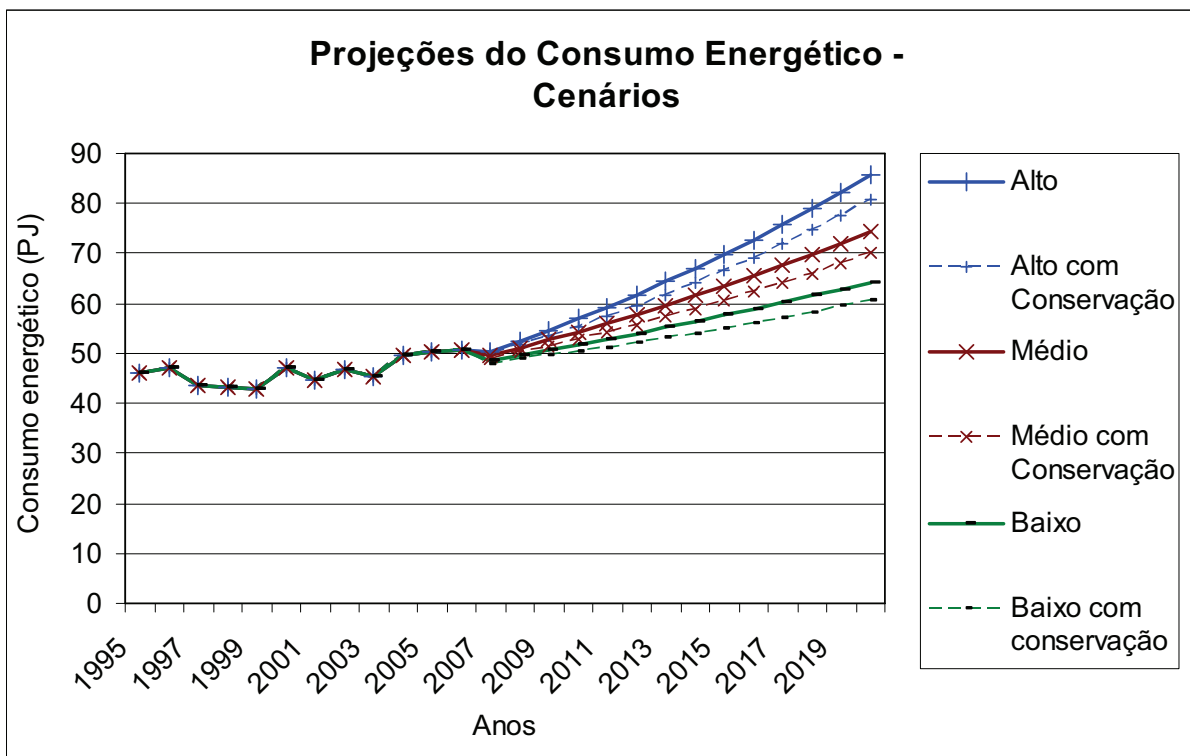


Figura 4.24: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor têxtil.

No cenário de crescimento econômico médio, considerado como cenário de referência, o consumo energético aumenta 46% entre 2006 e 2020, de 51 PJ a 74 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 47% neste intervalo de anos, de 28 PJ para 41 PJ.

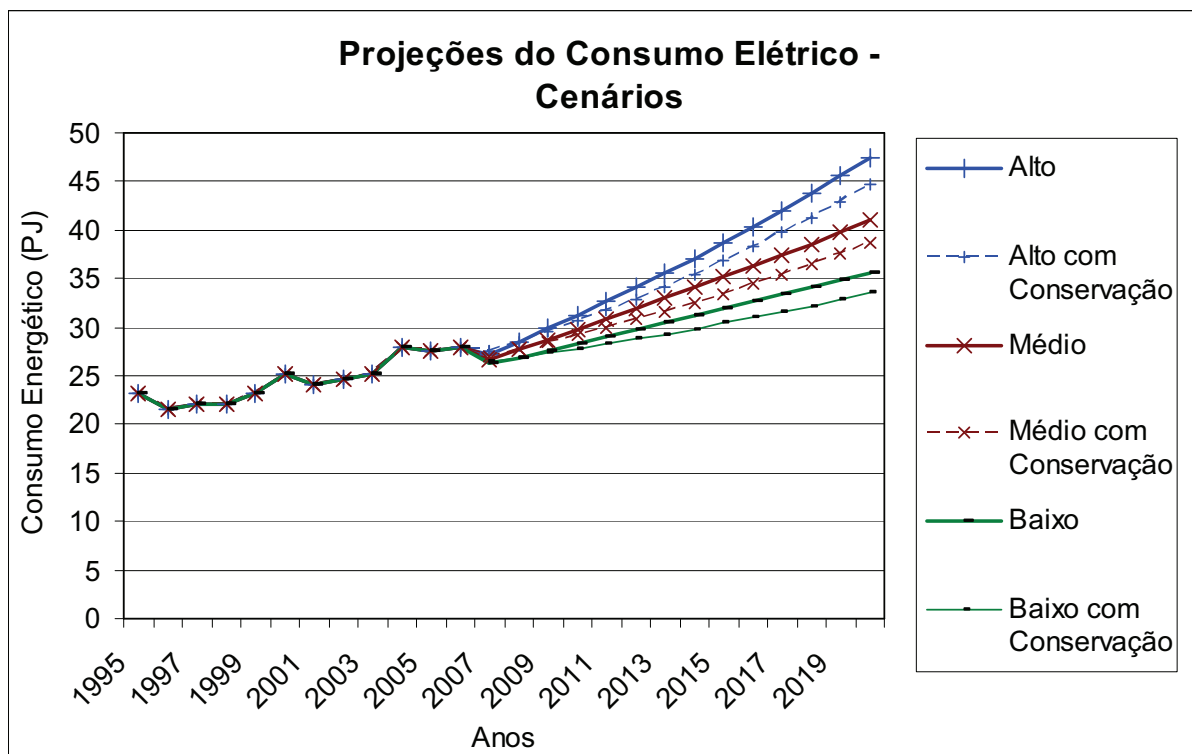


Figura 4.25: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para o setor têxtil.

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo energético aumenta 38% de 2006 a 2020, de 51 PJ para 70 PJ. O consumo de eletricidade aumenta 39% neste período, de 28 PJ para 39 PJ.

No setor têxtil, tanto os indicadores de intensidade energética como os de consumo específico apresentam tendência de crescimento, o que reflete a tendência do setor de tornar-se mais energointensivo. Este processo não implica necessariamente na ineficiência energética deste setor, mas na ênfase a produtos que necessitam de maior quantidade de energia.

No setor têxtil, as projeções de consumo energético dos cenários de crescimento econômico com conservação de energia se aproximam mais do comportamento esperado para este setor.

3.13 - Indústria de vidros

Na indústria de vidros, para cada cenário de crescimento econômico foi proposto um cenário de conservação de energia, com os seguintes consumos energéticos específicos baixos especificados como metas:

Consumo específico de energia térmica: 6,71 GJ/t

Consumo específico de energia elétrica: 0,899 GJ/t

Os resultados obtidos para as projeções de consumo energético e de consumo elétrico da indústria de vidros são apresentados nas Figuras 4.26 e 4.27, respectivamente, para cenários de crescimento econômico com e sem conservação de energia.

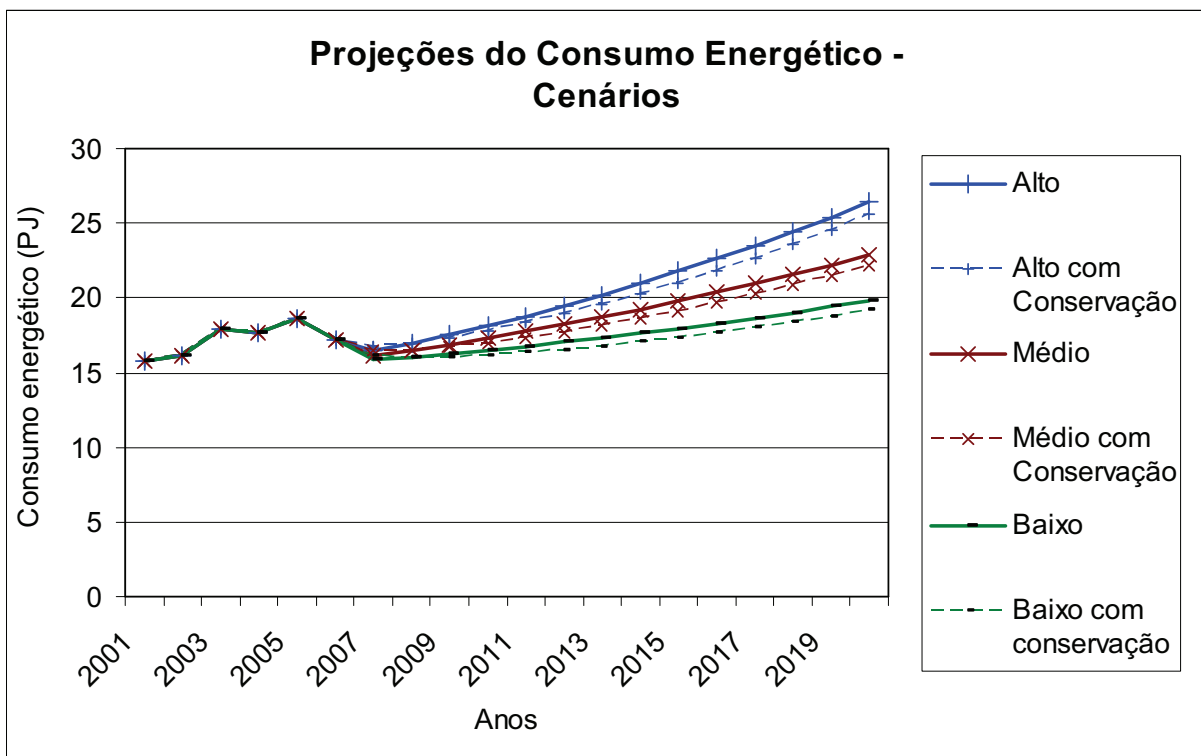


Figura 4.26: Projeções do consumo energético, em PJ, de 1995 a 2020, para a indústria de vidros

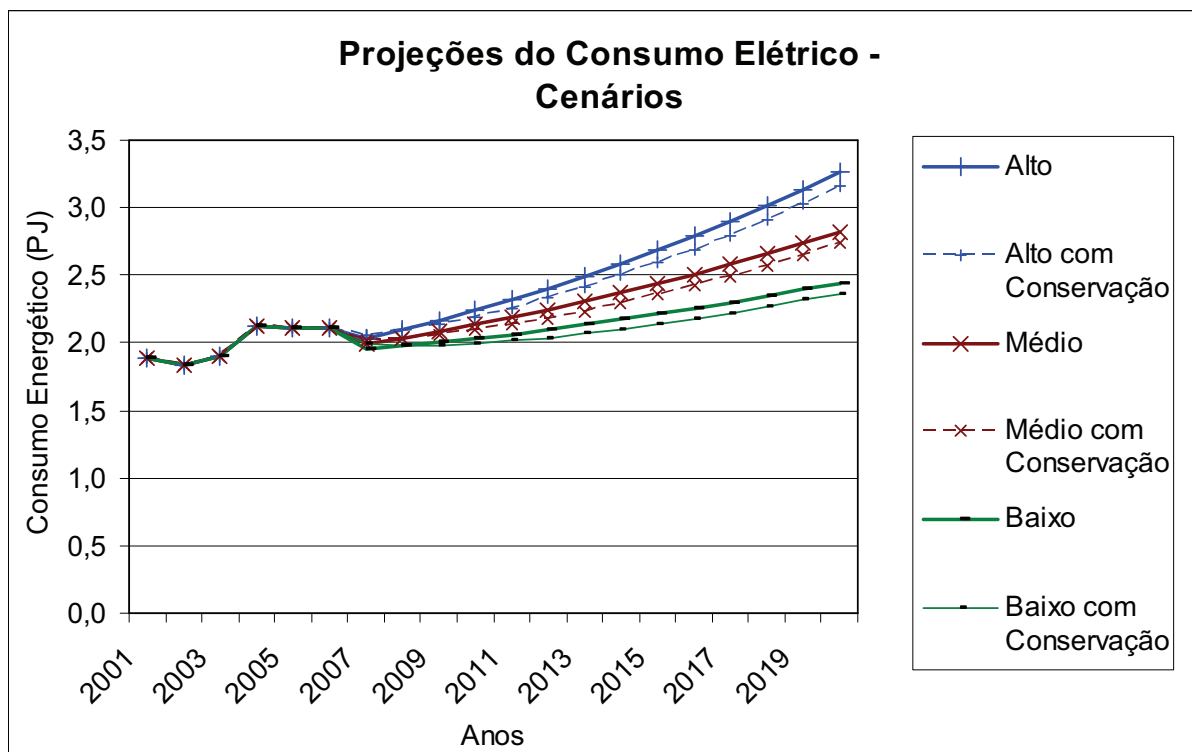


Figura 4.27: Projeções do consumo elétrico, em PJ, de 1995 a 2020, para a indústria de vidros

No cenário de crescimento econômico médio, o consumo energético aumenta 33% entre 2006 e 2020, de 17 PJ para 23 PJ. O consumo de eletricidade deste setor é baixo, situando-se em torno de 2 PJ em todo o período. O consumo de eletricidade aumenta 33% no período em questão, de 2,1 PJ a 2,8 PJ.

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo energético aumenta 29% de 2006 a 2020, de 17 PJ para 22PJ. O consumo de eletricidade também aumenta 29% neste período, de 2,1 PJ para 2,7 PJ.

Na indústria de vidros, os indicadores de intensidade energética e de consumo energético específico apresentam tendência de redução no período histórico analisado, caracterizando um processo de melhoria da eficiência energética do setor.

4.15 – Resultados e conclusões

Os resultados das projeções de consumo energético e consumo elétrico para todos os cenários contemplados neste trabalho e para todos os setores industriais, referentes ao ano de 2020, estão resumidos na Tabela 4.14, que, também, apresenta a variação percentual dos consumos energéticos e elétricos entre os anos de 2006 e 2020. A Tabela 4.15 apresenta os valores do consumo energético e elétrico para o setor industrial como um todo, referente ao ano de 2020, para todos os cenários contemplados neste trabalho.

Nos cenários de crescimento econômico sem conservação de energia, os setores de fundições, alimentos e bebidas, e químico destacaram-se por apresentarem as maiores taxas de crescimento na projeção do seu consumo energético.

Nos cenários de crescimento econômico com conservação de energia, os setores que apresentaram maiores economias de energia foram a indústria de vidros e os setores têxtil e siderúrgico.

Tabela 4.14: Projeções dos consumos energético e elétrico dos setores industriais, em PJ, em 2020 e as suas taxas de crescimento, em %, em relação a 2006

Projeções	Cenários de crescimento económico	Cenários de conservação de energia	2006		2020		Variação	
			Consumo de energia elétrica (PJ)	Consumo energético total (PJ)	Consumo de energia elétrica (PJ)	Consumo energético total (PJ)	Consumo de energia elétrica (%)	Consumo energético total (%)
Setor de Alimentos e Bebidas	alto	não	77	843	186	2029	141	141
		sim			167	1823	116	116
	médio	não			161	1758	109	109
		sim			145	1579	87	87
	baixo	não			140	1521	81	81
		sim			125	1366	62	62
Setor de Cerâmica	alto	não	12	148	22	278	89	88
		sim			20	256	73	73
	médio	não			19	241	64	63
		sim			17	222	50	50
	baixo	não			16	208	42	41
		sim			15	192	30	30
Setor de Cimento	alto	não	15	129	28	241	89	86
		sim			25	211	68	64
	médio	não			24	209	64	61
		sim			22	183	45	42
	baixo	Não			21	180	42	40
		sim			19	158	26	23
Setor de Extrativa Mineral	alto	não	36	126	77	269	113	113
		sim			69	241	91	91
	médio	não			67	233	85	85
		sim			60	208	65	65
	baixo	não			58	202	60	60
		sim			52	180	43	43
Setor de Fundições	alto	não	10,5	21	26	51	143	143
		sim			24	47	124	124
	médio	não			22	44	112	112
		sim			21	41	96	96
	baixo	não			20	39	85	85
		sim			18	36	71	71
Setor de Metais Não Ferrosos	alto	não	133	238	256	480	93	101
		sim			241	443	82	86
	médio	não			222	415	67	74
		sim			209	384	57	61
	baixo	não			192	359	45	51
		sim			181	332	36	39

Setor de Outros Minerais Não Metálicos	alto	não	0,8	63	1,5	116,2	91	85
		sim			1,4	107,0	75	71
	médio	não			1,3	100,7	65	61
		sim			1,2	92,7	51	48
	baixo	não			1,1	87,1	43	39
		sim			1,1	80,2	31	28
Setor de Papel e Celulose	alto	não	56	336	116	747	108	123
		sim			109	692	96	106
	médio	não			100	647	80	93
		sim			95	600	70	79
	baixo	não			87	561	56	67
		sim			82	520	47	55
Setor Químico	alto	não	79	308	193	727	145	136
		sim			175	681	122	121
	médio	não			167	630	112	104
		sim			151	590	92	91
	baixo	não			144	545	83	77
		sim			131	510	66	66
Setor Siderúrgico	alto	não	61	711	103	1204	70	69
		sim			98	1144	61	61
	médio	não			89	1043	47	47
		sim			85	991	40	39
	baixo	não			77	902	27	27
		sim			73	857	21	21
Setor Têxtil	alto	não	28	51	47	86	70	69
		sim			45	81	60	59
	médio	não			41	74	47	46
		sim			39	70	39	38
	baixo	não			36	64	27	26
		sim			33	61	20	19
Setor de Vidros	alto	não	2	17	3,3	26,5	54	54
		sim			3,2	25,6	49	49
	médio	não			2,8	22,9	33	33
		sim			2,7	22,2	29	29
	baixo	não			2,4	19,8	15	15
		sim			2,4	19,2	12	12
Setor de Outras Indústrias	alto	não	131	196	263	383	101	96
		sim			-	-	-	-
	médio	não			228	331	74	70
		sim			-	-	-	-
	baixo	não			197	287	50	47
		sim			-	-	-	-
Setor de Ferro Ligas	Cenário Único Tendencial		28	68	32	78	16	16

Tabela 4.15: Projeções dos consumos energético e elétrico do setor industrial, em PJ, em 2020 e as suas taxas de crescimento, em %, anuais e em relação a 2006

Cenários de crescimento econômico	Cenários de conservação de energia	2006		2020		Variação ao ano		Variação no período	
		Consumo de energia elétrica (PJ)	Consumo energético total (PJ)	Consumo de energia elétrica (PJ)	Consumo energético total (PJ)	Consumo de energia elétrica (%)	Consumo energético total (%)	Consumo de energia elétrica (%)	Consumo energético total (%)
alto	não	668	3254	1354	6715	5,17	5,31	103	106
	sim			1273	6213	4,71	4,73	90	91
médio	não			1178	5828	4,13	4,25	76	79
	sim			1107	5393	3,67	3,67	66	66
baixo	não			1023	5054	3,09	3,20	53	55
	sim			963	4677	2,64	2,63	44	44

No cenário de crescimento econômico médio, adotado como cenário de referência, o consumo energético total aumenta 79% em todo período, de 3254 PJ para 5828 PJ, que representa uma variação anual de 4,25%. O consumo de eletricidade apresenta um crescimento um pouco menor, de 76% no período, de 668PJ para 1178PJ, representando uma variação anual de 4,13%.

No cenário de crescimento econômico médio com conservação de energia, o consumo energético total aumenta 66% de 2006 a 2020, de 3254 PJ para 5393 PJ, que representa uma variação anual de 3,67%. O consumo de eletricidade também aumenta 66% neste período, de 668 PJ para 1107 PJ, ou seja, uma variação anual de 3,67%.

Conforme o Plano Nacional de Expansão de Energia 2030 – PNE 2030 (EPE, 2007b), as taxas de crescimento do consumo energético industrial para os diferentes cenários do Plano são:

- Cenário “Na crista da onda”: 4,4%
- Cenário “Surfando na marola”: 3,8%
- Cenário “Pedalinho”: 3,2%
- Cenário “Náufrago”: 2,6%

Comparando-se estas taxas de crescimento do consumo energético total da indústria no PNE 2030 com as obtidas nesta dissertação verifica-se que elas, de uma forma geral, estão bastante aderentes. Destaque-se, no entanto, que o cenário de elevado crescimento da economia, nesta dissertação, possui projeções mais otimistas do que os cenários do Plano.

Capítulo 5

Conclusões

O setor industrial possui grande importância na economia brasileira por gerar uma parte substancial do Produto Interno Bruto e demandar uma diversidade de insumos, dentre eles a energia. Para se delinear com precisão a situação energética atual do País e prever as futuras demandas de energia é necessário analisar o setor industrial de uma forma desagregada, contemplando sua heterogeneidade.

Diferentes hipóteses foram adotadas na elaboração dos cenários de crescimento econômico sem e com conservação de energia, resultando distintas projeções de consumo energético. Nas projeções associadas aos cenários de crescimento econômico sem novos programas de conservação de energia, realizadas através da primeira variante do modelo de desagregação setorial (equação 4.1), a intensidade energética apresenta um comportamento tendencial no futuro. Já para as projeções efetuadas nos cenários de crescimento econômico com conservação de energia, onde foi utilizada a segunda variante do modelo de desagregação setorial, tem-se a hipótese de formulação de novas políticas públicas que visam a adoção de consumos energéticos específicos mais baixos do que os atuais, no futuro. Ambos os cenários consideram, em suas projeções, parâmetros de crescimento econômico.

Os setores de cimento, outros minerais não metálicos, papel e celulose e vidros apresentam indicadores de intensidade energética e consumo energético específico com tendência

de redução. A redução conjunta destes dois indicadores implica que estes setores apresentaram melhorias em sua eficiência energética no período analisado.

Os setores de alimentos e bebidas, extrativa mineral e têxtil, por outro lado, apresentam crescimento tanto na intensidade energética quanto no consumo específico, o que indica que estes setores estão se tornando mais energointensivos.

No cenário de crescimento econômico médio, adotado como cenário de referência, o consumo energético total apresenta um crescimento de 4,25% ao ano, enquanto o consumo de eletricidade tem um crescimento um pouco menor, de 4,13% ao ano. Adotando-se novas políticas de conservação de energia, que almejam a obtenção de consumos energéticos específicos mais baixos em cada segmento industrial analisado, estes cenários se modificaram e o consumo energético total, bem como o consumo elétrico, apresentam um crescimento menor, de 3,67% ao ano.

Os modelos energéticos e, em particular, os modelos de projeção da demanda, são importantes ferramentas para as tomadas de decisão e na formulação de políticas públicas relacionadas à expansão do setor energético, na medida em que, dado o longo tempo de construção de uma infra-estrutura adequada, as decisões devem ser tomadas com muitos anos de antecedência. Os cenários alternativos de desenvolvimento adotados e as projeções de demanda realizadas nesta dissertação se mostraram aderentes, em linhas gerais, com as projeções oficiais do governo brasileiro.

5.1 - Contribuições desta dissertação e trabalhos futuros

A formação de uma base de dados desagregada por 14 segmentos industriais, com informações confiáveis, envolveu um árduo trabalho de uma ampla equipe. Esta base de dados, que envolve variáveis energéticas, econômicas e físicas, pode ser utilizada para diversos outros estudos envolvendo o consumo de energia na indústria. Pretende-se enriquecer esta base de dados discriminando-se os usos finais da energia, o que possibilitará obter projeções por usos finais e por segmento industrial.

A partir das projeções aqui encontradas, e assumindo hipóteses sobre a evolução futura das parcelas de mercado de cada energético, podem-se obter projeções da matriz energética de cada segmento industrial. Neste caso, podem ser analisadas, também, possíveis substituições futuras entre os diversos energéticos que compõe estas matrizes.

A caracterização dos segmentos industriais através da análise dos indicadores aqui realizada utiliza parâmetros que têm sido recomendados pela Agência Internacional de Energia a fim de facilitar comparações internacionais. Os países da União Européia já os utilizam. Através dos indicadores analisados neste trabalho, podem ser realizados estudos futuros envolvendo comparações internacionais de segmentos industriais.

Referências Bibliográficas

Araújo, J. L. R. H., *Modelos de Energia para Planejamento*, Tese preparada para o Concurso de Professor Titular, Área Interdisciplinar de Energia, Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1988.

Associação Brasileira de Cimento Portland. Acesso em Novembro de 2007, disponível em: <http://www.abcp.org.br>

ANP, Modelo de Projeção de Uso de Energia Baseado em Coeficientes Setoriais de Intensidade Energética: Princípios e Metodologia, Relatório Técnico, Superintendência de Estudos Estratégicos, Agência Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro, RJ, agosto de 2001.

Bajay, S. V., Long term electricity demand forecasting models: a review of methodologies, *Electric. Power Syst. Res.*, 6 (4): 243-57, 1983.

Bajay, S. V., Walter, A. C. S., Ferreira, A. L., Carvalho, E. B. e Agra, D. A., *Relatório da Atividade I: Caracterização Técnica, Econômica e Energética dos Onze Segmentos Industriais Energo-Intensivos Objeto de Análise*, Convênio Eletrobrás / Unicamp / Funcamp no ECV-677/94, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, janeiro de 1995.

Bajay, S.V., Ferreira,A.L. & Agra,D.A.- *Demanda energética industrial: projeções através da abordagem das parcelas de mercado*, Revista Brasileira de Energia, 5(2): 157-82, 1996.

Bajay, S. V., Modelos de planejamento da expansão de sistemas energéticos, *Revista Brasileira de Tecnologia e Negócios de Petróleo, Gás, Petroquímica, Química Fina e Indústria do Plástico – TN Petróleo*, 7(39): 81-7, 2004.

Bajay, S.V., Leite, A. A. F. , Pereira, A. F. S. , Berni, M. D., Melo ,C. A. , Novas abordagens metodológicas nos estudos de mercado a curto , médio e longo prazos. Projeto PD 092 , convênio Unicamp/Cenergel / CPFL , julho de 2006.

Bajay, S. V., Leite, A. A. F., Beissmann, A., Simões, A. F., Rocha C. R., Dorileo, I. L., Modesto, M., Berni, M. D. e Santana, P. H. M., *Caracterização Técnica dos Setores Industriais*, relatório técnico do projeto versando sobre “Análise e desenvolvimento de metodologia visando à implementação de projetos de eficiência energética na indústria”, financiado pela Confederação Nacional da Indústria, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

Bajay, S. V., Ferreira, A. L. & Agra, D. A. - Demanda energética industrial: projeções através da abordagem das parcelas de mercado, *Revista Brasileira de Energia*, 5(2): 157-82, 1996.

Bhattacharyya, S.C., 2007, Energy Sector Management Issues: An overview, *International J of Energy Sector Management*, 1(1), 2007, pp. 13-33.

Bracelpa, Associação Brasileira de Celulose e Papel (www.bracelpa.org.br), em novembro de 2008.

CGEE/PNUD – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Relatório Mineração e Meio Ambiente no Brasil. 2002

Dias, E.G.C.S. Avaliação de Impacto Ambiental de Projetos de Mineração no Estado de São Paulo: A Etapa de Acompanhamento. 2001. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Informe Mineral. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br>. Disponível em Maio de 2007.

EPE, *Balanço Energético Nacional 2007*, Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, 2007a.

EPE, *Plano Nacional de Energia -2030*, Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, 2007b.

EPE, *Plano Decenal de Expansão de Energia -2008/2017*, Empresa de Pesquisas Energéticas, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

Floriani, D. *Conhecimento, meio ambiente e globalização*, 2004.

Galindo, J. *A questão da sustentabilidade econômica e Sócio-Ambiental dos Programas de eletrificação rural no Nordeste Brasileiro*. 2008.

Geller, H.S. *Revolução energética*. Políticas para um futuro sustentável, 2003.

Gellings, C.W., *Demand forecasting for electric utilities*, 1991,

Ghanadan, R. and J. G. Koomey, *Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California*, Energy Policy, 33, pp. 1117-42, 2005,

Goldenberg, J. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*, 1998

Griffin, J. M., Methodological advances in energy modelling: 1970-90. In: Lesourd, J. B., Percebois, J. & Valette, F. (Eds.), *Models for Energy Policy*, Routledge, London, 1990, p. 3-13.

Hogan, D, ET AL. *Um breve perfil do estado de São Paulo*, 2000.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Novembro de 2008, disponível em [:http://www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

IEMI, *Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira*, Instituto Brasileiro de Marketing Industrial (IEMI), São Paulo, v. 6, no 6, p. 172, 2006.

Meier, P., *Energy Systems Analysis for Developing Countries*, Springer-Verlag, Berlin, 1984.

MME, *Balanço de Energia Útil 2005*, Ministério de Minas e Energia - MME, Brasília, DF, 2005.

MME, *Anuário Estatístico – Indústria Metalúrgica Brasileira*, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral / Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF, 2006.

MME, *Anuário Estatístico – Setor Metalúrgico*, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral / Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF, 2007.

Mineropar - Minerais do Paraná S.A. Disponível em <<http://www.mineropar.pr.gov.br>>. Acesso em Maio de 2007.

Ministério de Minas e Energia. Balanço de Energia Útil 2005. Acesso em 12/11/2007, disponível em:
http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=14131

Silva, E. P. da ; Camargo, J. C.; Sordi, A; Santos, A. M.R. *Recursos energéticos meio ambiente e desenvolvimento*, 2004.

Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. Acesso em 12/11/2007, disponível em:
<http://www.snac.org.br>

Soares, J.B. *Potencial de conservação de energia e de mitigação das emissões de gases de efeito estufa para a indústria brasileira de cimento Portland até 2015*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998.

Sohn, I. *Long-term energy projections: What lessons have we learned?* Energy Policy, 35, pp. 4574- 4584, 2007.

Tolmasquim, M. T. e Szklo, A. S. 2000. *A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio*, ENERGE/COPPE. Rio de Janeiro, RJ, 2000.

Urban, F., R. J. M. Benders and H. C. Moll., *Modelling energy systems for developing countries*, Energy Policy, 35, pp. 3473-82, 2007.

Utgikar, V.P and Scott, J.P. *Energy forecasting: Predictions, reality and analysis of cause of error*, Energy Policy, 34, pp. 3087- 3092, 2006.

Anexo – Gráficos complementares

Indicadores econômicos e energéticos

1 - Setor de Alimentos e Bebidas

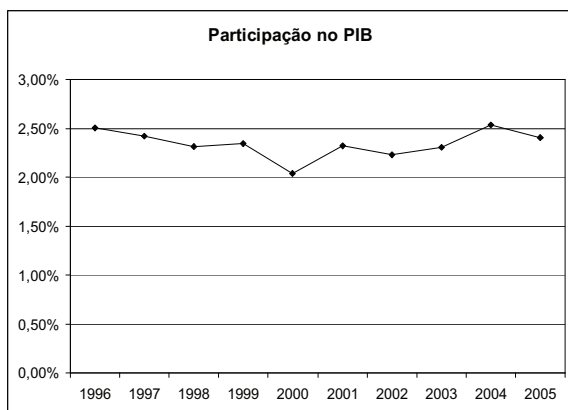


Figura 1: Participação no PIB do Setor de Alimentos e Bebidas, de 1996 a 2005.

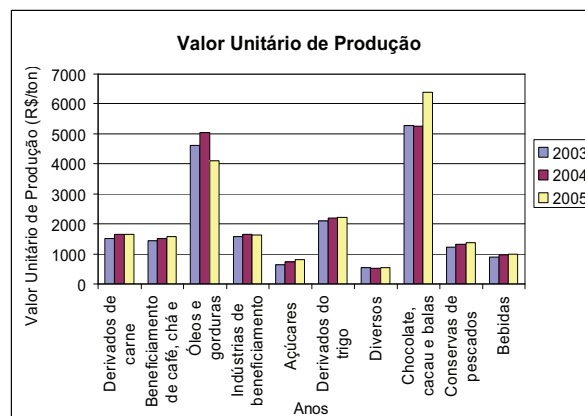


Figura 3: Valor Unitário de produção do Setor de Alimentos e Bebidas por segmento homogêneo, em (R\$ de 2005) / t, de 1998 a 2005.

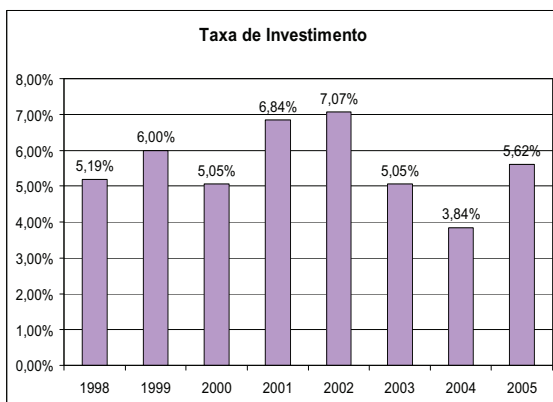


Figura 2: Taxa de Investimentos do Setor de Alimentos e Bebidas, de 1998 a 2005.

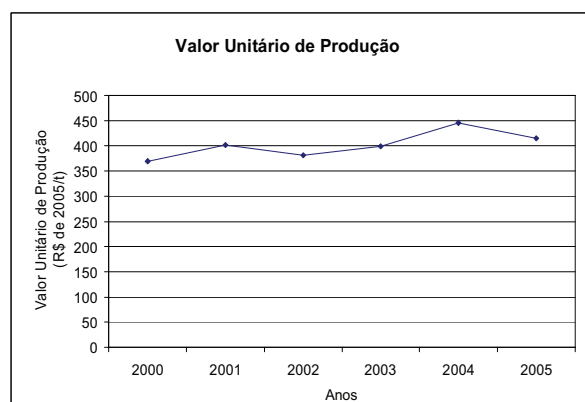


Figura 4: Valor Unitário de produção do Setor de Alimentos e Bebidas, em (R\$ de 2005) / t, de 1998 a 2005.

2 - Setor de Cerâmica

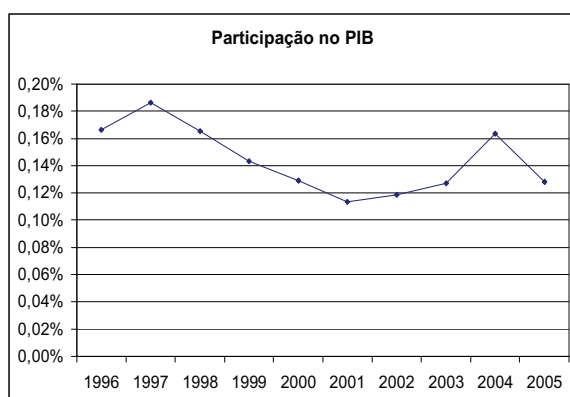


Figura 5: Participação no PIB do Setor de Cerâmica, de 1996 a 2005.

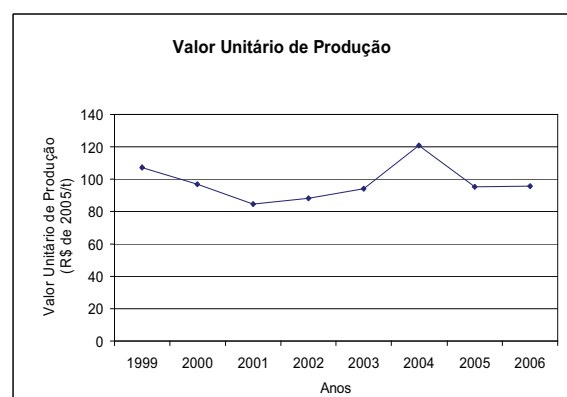


Figura 6: Valor Unitário de produção de Cerâmica, em (R\$ de 2005) / t, de 1999 a 2006.

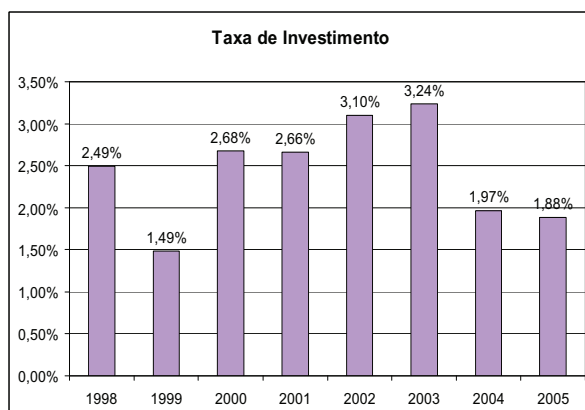


Figura 7: Taxa de Investimento do Setor de Cerâmica, de 1998 a 2005.

3 - Setor de Cimento

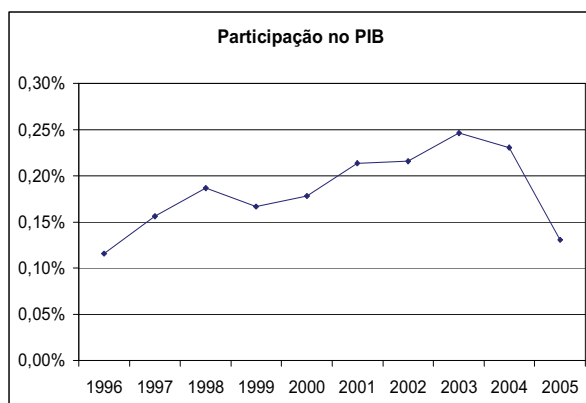


Figura 8: Participação no PIB do Setor de Cimento, de 1996 a 2005.

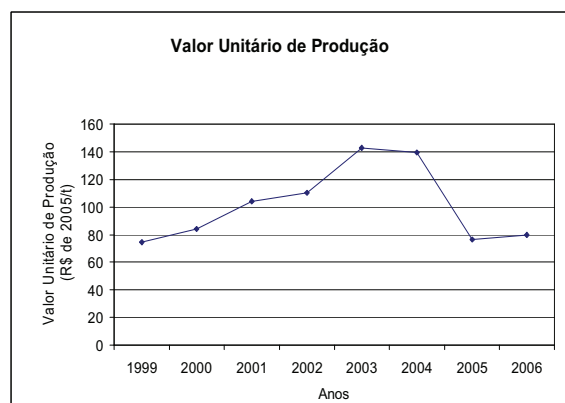


Figura 9: Valor Unitário de produção do Setor de Cimento, em (R\$ de 2005) / t, de 1996 a 2005.

4 - Setor de Extrativa Mineral

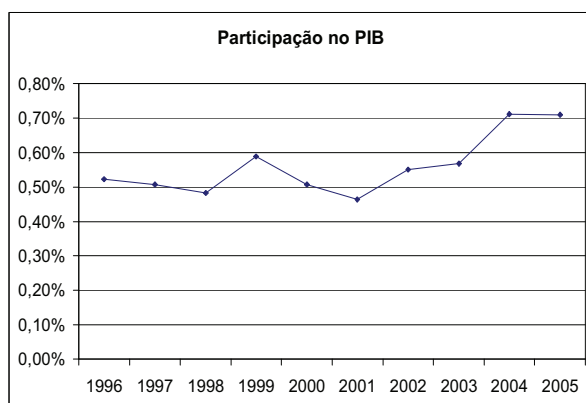


Figura 10: Participação no PIB do Setor Extrativa Mineral, de 1996 a 2005.

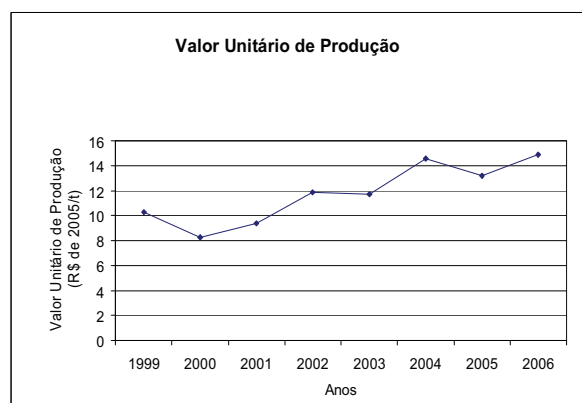


Figura 11: Valor Unitário de produção do Setor Extrativa Mineral, em (R\$ de 2005)/t, de 1997 a 2005.

5 - Setor de Fundições

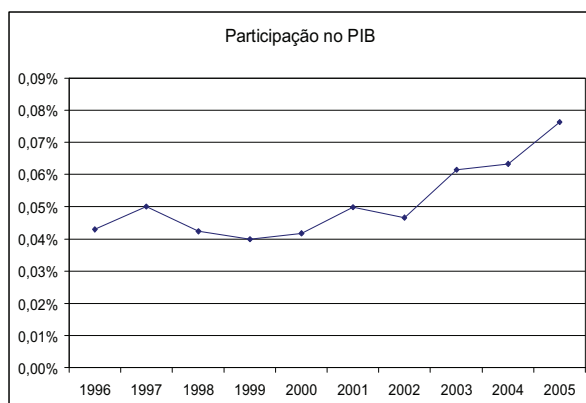


Figura 12: Participação no PIB do Setor Fundições, de 1996 a 2005.

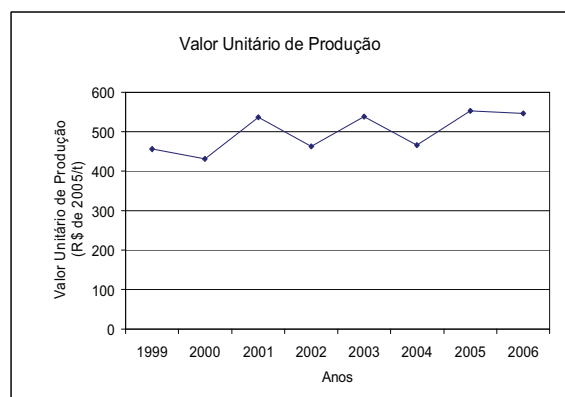


Figura 13: Valor Unitário de produção do Setor de Fundições, em (R\$ de 2005)/t, de 1998 a 2005.

6 - Setor de Metais não Ferrosos

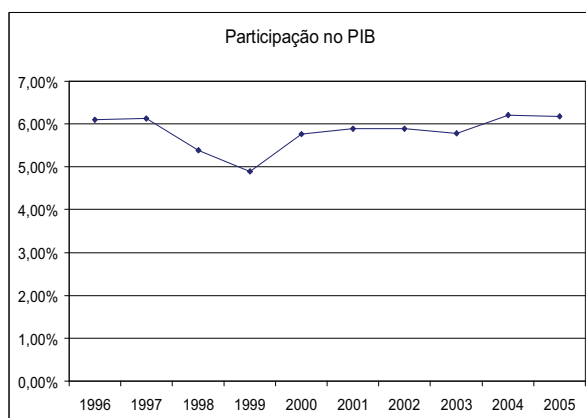


Figura 14: Participação no PIB do Setor Metais não ferrosos, de 1996 a 2005.

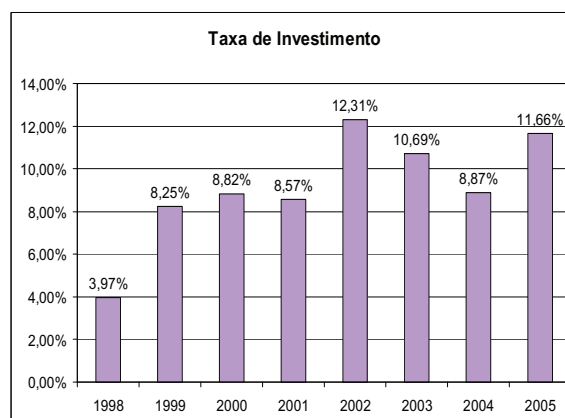


Figura 15: Taxa de Investimento do Setor de Metais não ferrosos, em (R\$ de 2005)/t, de 1998 a 2005.

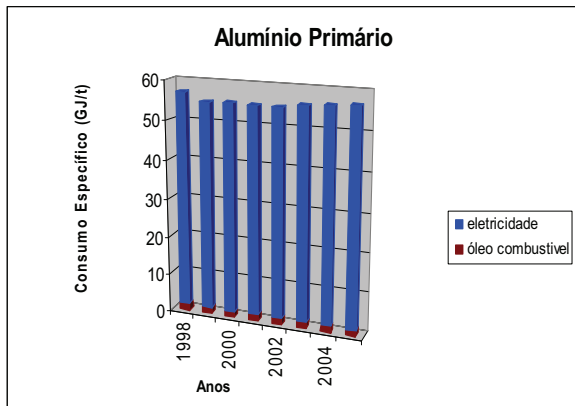


Figura 16: Consumo Específico de Alumínio primário, em GJ/t de 1998 a 2005.

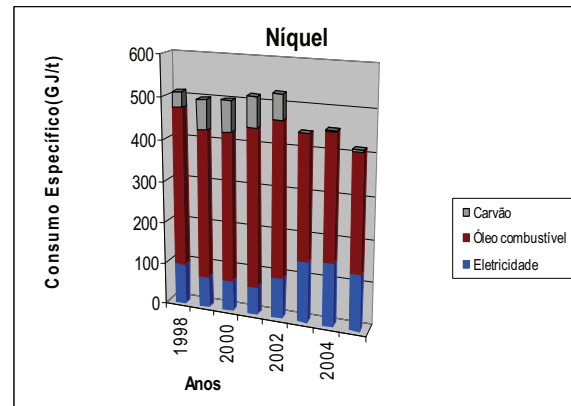


Figura 19: Consumo Específico de Níquel, em GJ/t de 1998 a 2005.

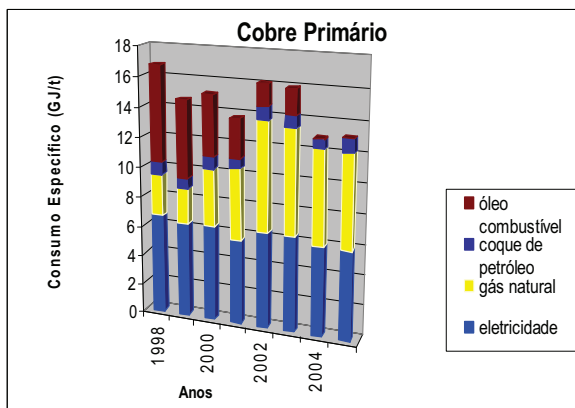


Figura 17: Consumo Específico de Cobre primário, em GJ/t de 1998 a 2005.

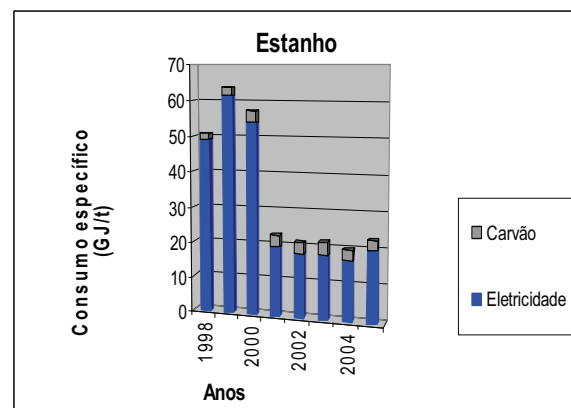


Figura 20: Consumo Específico de Estanho, em GJ/t de 1998 a 2005.

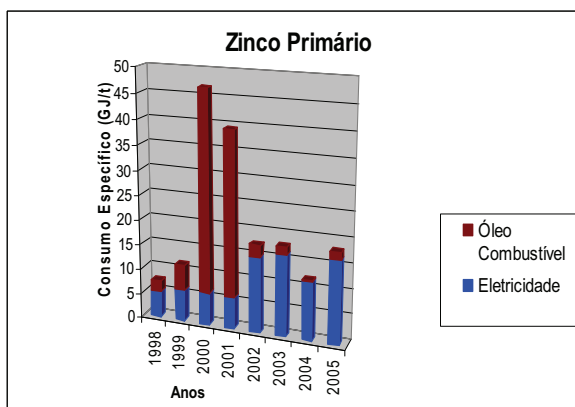


Figura 18: Consumo Específico De Zinco primário, em GJ/t de 1998 a 2005.

7 - Outras Indústrias

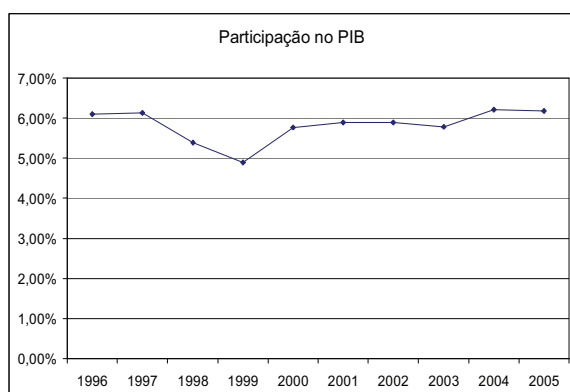


Figura21: Participação no PIB de Outras Indústrias, de 1996 a 2005.



Figura 22: Taxa de Investimento de Outras Indústrias, em (R\$ de 2005)/t, de 1998 a 2005.

8 - Setor de Outros Minerais Não Metálicos

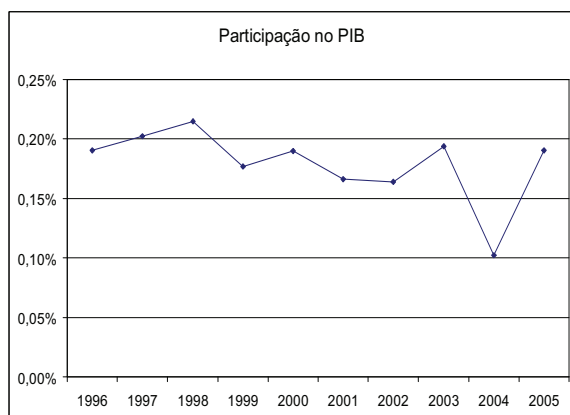


Figura 23: Participação no PIB do Setor de Outros Minerais Não Metálicos, de 1996 a 2005.

9 - Setor de Papel e Celulose

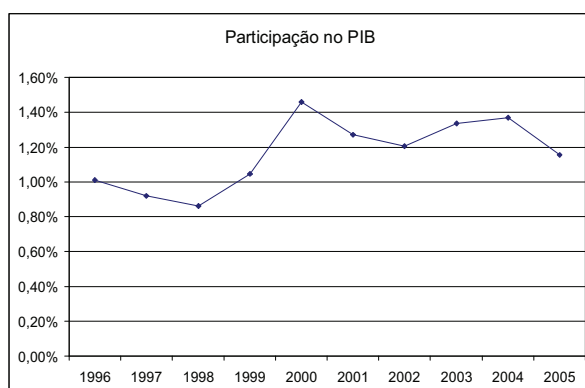


Figura 24: Participação no PIB do Setor de Papel e Celulose, de 1996 a 2005.

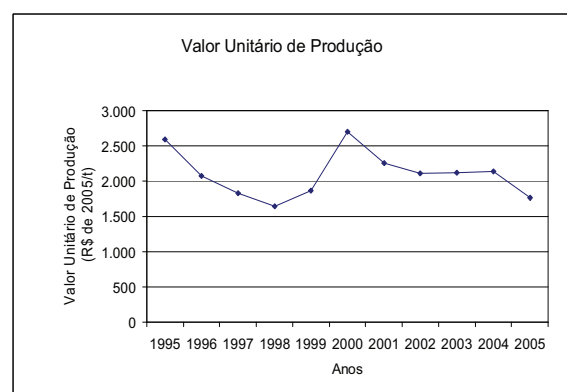


Figura 26: Valor Unitário de produção do Setor de Papel e Celulose, em (R\$ de 2005)/t, de 1999 a 2006.

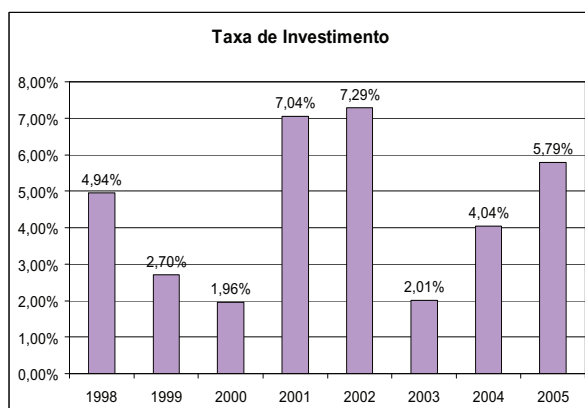


Figura 25: Taxa de Investimento do Setor de Papel e Celulose, em (R\$ de 2005)/t, de 1998 a 2005.

10 - Setor Químico

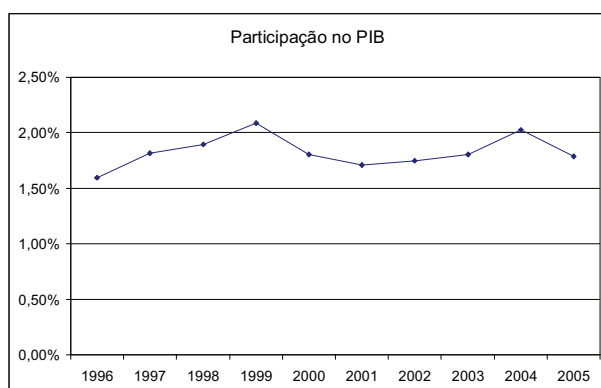


Figura 27: Participação no PIB do Setor Químico, de 1996 a 2005.



Figura 28: Taxa de Investimento do Setor de Químico, em (R\$ de 2005)/t, de 1998 a 2005.

11 - Setor Siderúrgico

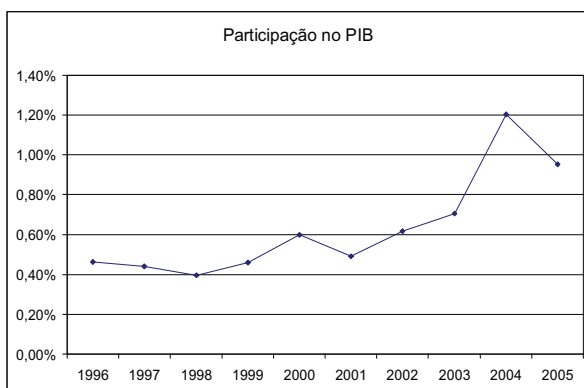


Figura 29: Participação no PIB do Setor Siderúrgico, de 1996 a 2005.

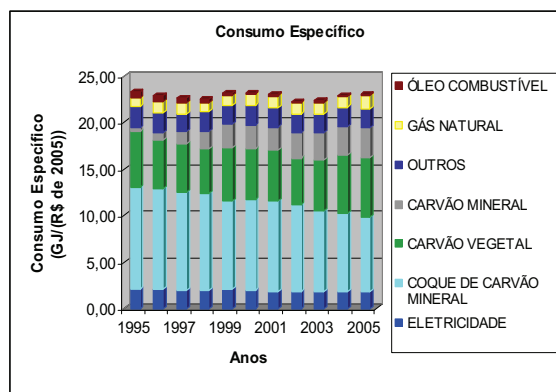


Figura 31: Consumo Específico do Setor Siderúrgico, em GJ/t de 1996 a 2005.

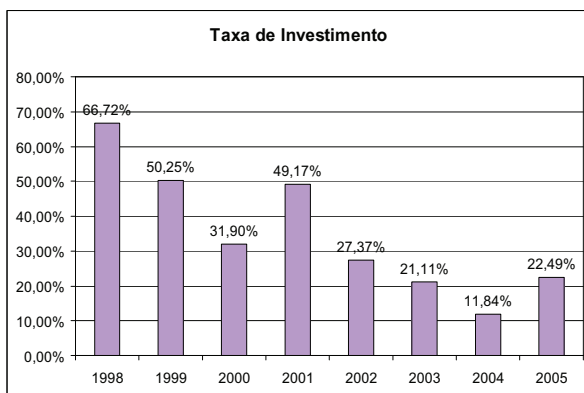


Figura 30: Taxa de Investimento do Setor Siderúrgico, em (R\$ de 2005)/t, de 1996 a 2005.

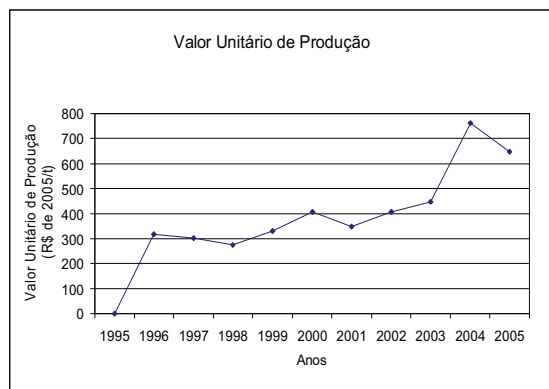


Figura 32: Valor Unitário de produção do Setor Siderúrgico, em (R\$ de 2005) / t, de 1996 a 2005.

12 - Setor Têxtil

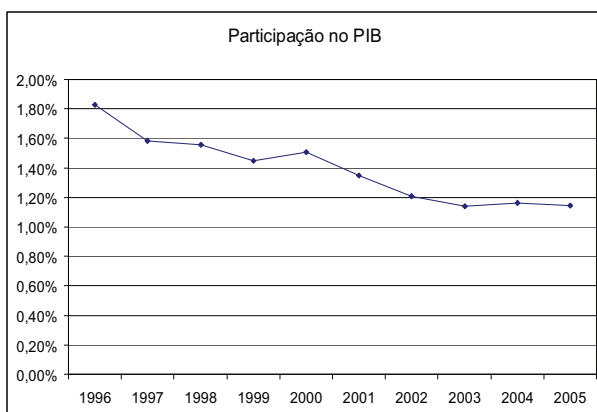


Figura 33: Participação no PIB do Setor Têxtil, de 1996 a 2005

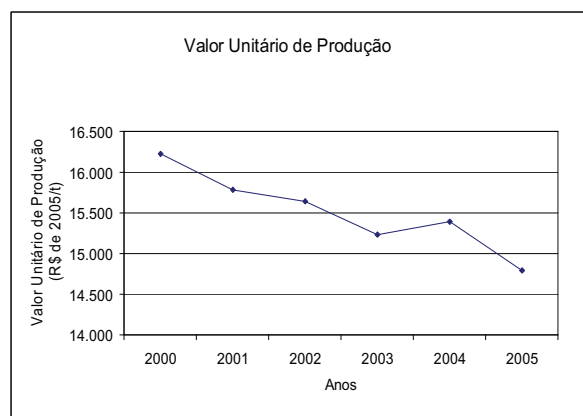


Figura 35: Valor Unitário de produção do Setor Têxtil, em (R\$ de 2005) / t, de 2000 a 2005.

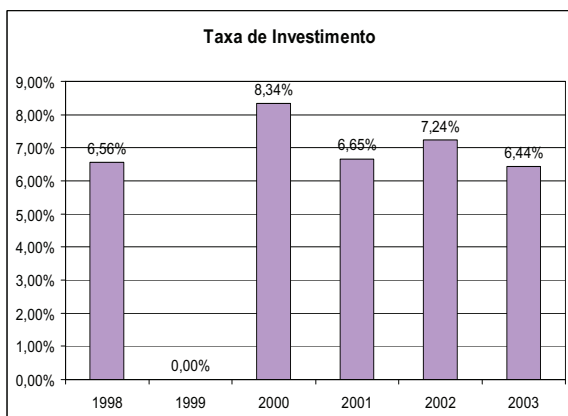


Figura 34: Taxa de Investimento do Setor Têxtil, em (R\$ de 2005)/t, de 1998 a 2005.

13 - Setor de Vidros

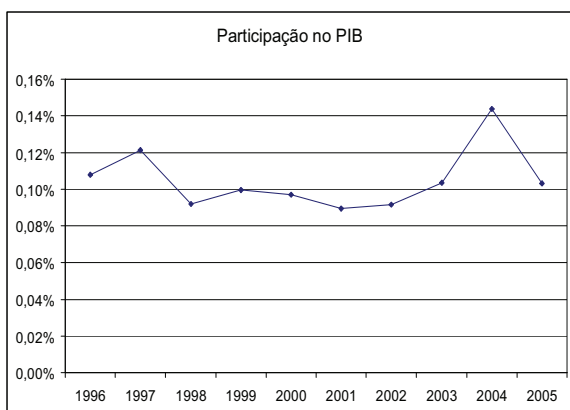


Figura 36: Participação no PIB do Setor de Vidros, de 1996 a 2005.

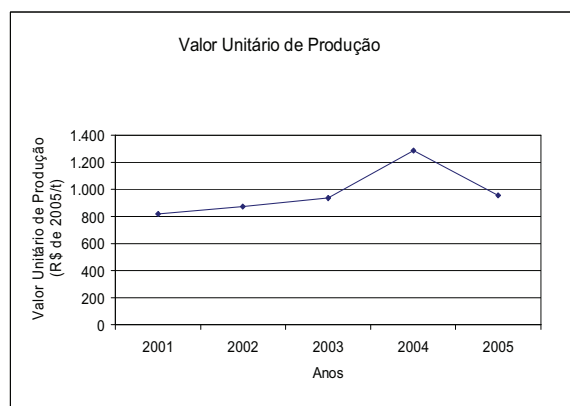


Figura 38: Valor Unitário de produção do Setor de Vidros, em (R\$ de 2005) / t, de 2000 a 2005.

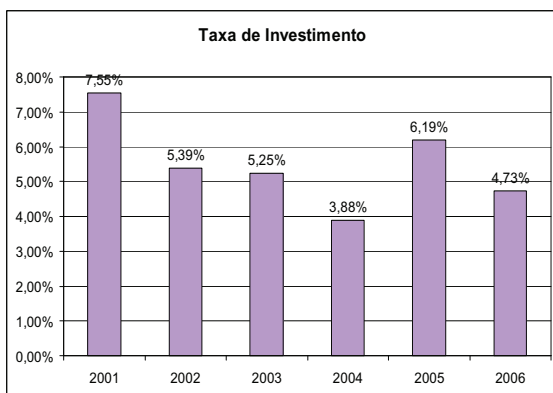


Figura 37: Taxa de Investimento do Setor de Vidros, em (R\$ de 2005)/t, de 2001 a 2005.